

Bodenverbesserung statt Deponie

Klaus Büchel

Stefan Zeller

1. Zusammenfassung

In Zusammenhang mit der gewässermorphologischen Neugestaltung des Linthkanals und der dazugehörigen Nebenkanäle fielen grosse Mengen Bodenaushub an, welche als Überschuss zu entsorgen waren. Mit den zwei Rekultivierungsprojekten¹ im Benknerriet (Benken, Los REB) und im Gebiet Unter Allmeind (Reichenburg, Los RER) konnten rund 220'000 m³ Bodenaushub umweltverträglich und bodenschonend verwertet und eine qualitative Standortverbesserung erreicht werden [10] [12]. Die Bewirtschaftung der zwei Projektflächen wurde mit dieser Massnahme nachhaltig für die landwirtschaftliche Nutzung gesichert.

2. Aushubverwertung – ein Problem?

Jährlich fallen rund 40 Millionen Kubikmeter Aushubmaterial an (Bodenaushub und Aushubmaterial [2] [4]), wovon nur ein geringer Anteil verschmutzt ist, schätzungsweise 5 bis 10% [7]. Gemäss Umweltschutzgesetzgebung gelten für die Abfallbewirtschaftung folgende Grundsätze: vermeiden, verwerten, entsorgen (vgl. USG, SR 814.01, Art. 30). Für die Behandlung von (unvermeidbaren) Abfällen gilt das Verwertungsgebot (vgl. USG, SR 814.01, Art. 30 Bst. 2). Im besonderen Fall von Bodenaushub ist die natürlich entwickelte Bodenfruchtbarkeit zu erhalten (vgl. VBBo, SR 814.12, Art. 7). Jeder Bodenaushub enthält eine den spezifischen Qualitätseigenschaften entsprechend natürlich entwickelte Bodenfruchtbarkeit, ausser es liegt eine chemische, physikalische oder biologische Belastung vor. Nebst der Bodenfruchtbarkeit ist Boden das Produkt der Bodenbildung, welche spätestens nach der letzten Eiszeit eingesetzt hat. Eine Erneuerung von Boden ist nur in sehr grossen Zeiträumen möglich. Unverschmutztes Aushubmaterial soll grundsätzlich für Rekultivierungen verwertet werden (vgl. TVA, 814.600, Art. 16 Abs. 3 Bst. d). Trotz der gesetzlichen Pflicht zur Verwertung von Abfällen ist die Entsorgung von Bodenaushub auf Deponien der Regelfall. Dies widerspricht der Bestimmung, dass unver-

¹ Im vorliegenden Bericht werden die Begriffe Bodenverbesserung und Rekultivierung synonym verwendet. Damit wird die Rekultivierung von Bodenaushub zur Bodenverbesserung umschrieben.

schmutztes Aushubmaterial nur auf Inertstoffdeponien abgelagert werden darf, soweit es nicht für Rekultivierungen verwertet werden kann (vgl. TVA, SR 814.600, Anhang 1 Ziff. 12 Abs. 2). Durch diese Entsorgungsart wird unverschmutzter mit verschmutztem Bodenaushub und weiteren Abfällen vermischt und gesamthaft in seiner Qualität abgewertet. Dies ist nicht zulässig (vgl. TVA, SR 814.600, Art. 10). Der Grundsatz zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit kann nicht eingehalten werden.

In einigen Regionen zeichnet sich bereits heute eine Verknappung der Entsorgungskapazität auf Deponien und Kiesgruben ab [7]. Längerfristig ist schweizweit eine Verknappung absehbar, was eine Suche nach alternativen Verwertungsmöglichkeiten für sämtliche verwertbaren Abfälle notwendig macht [14]. Mit der Ablagerung von (unverschmutztem) Bodenaushub wird Deponievolumen unnötig beansprucht, welches für die Entsorgung verschmutzter und nicht verwertbarer Abfälle gesichert werden könnte. Aufgrund der grossen Kubaturen sind alternative Verwertungsmöglichkeiten notwendig. Idealerweise sind diese am besten am Entstehungsort selber oder in der näheren Umgebung desselben [6] [7]. Nebst der Schonung des ohnehin knappen Deponievolumens können dadurch die Transportdistanzen (teilweise massiv) reduziert werden, was nicht nur zu einer Verkehrsentlastung, sondern auch zu einer Verbesserung der Umweltauswirkungen einer Aushubstelle beiträgt. Zudem zeigen verschiedene Praxisbeispiele, dass eine umweltgerechte Aushubverwertung auch wirtschaftlich realisierbar ist (im Rahmen der Deponiegebühren) und zu Kostenoptimierungen vor allem bei Grossprojekten führen kann.

Generell ist ein zunehmender Nutzungsdruck auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verzeichnen, was in einer laufenden Verkleinerung derselben resultiert. Jährlich werden einige Tausend Hektaren Boden verbaut und gehen dem Naturhaushalt und der landwirtschaftlichen Nutzung verloren (Faustzahl: 1 m²/s) [5]. Die Arealstatistik belegt diese Entwicklung eindrücklich [1]. Zur Gewährleistung der langfristigen Produktionssicherheit haben Flächensicherung und qualitative Verbesserung der Produktionsgrundlage Boden eine zentrale Bedeutung.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Entwicklungen bezüglich Deponievolumen und Flächenbeanspruchung sind nachhaltige Lösungen gefragt. Eine Vermeidung der Flächenbeanspruchung beziehungsweise des Anfalls von Aushubmaterial ist in der heutigen Zeit eine Illusion, weshalb Konzepte im Bereich Verwertung und Entsorgung zu entwickeln und umzusetzen sind. Nebst dem Recycling zur Gewinnung von Kies besteht für die Rekultivierung von qualitativ geeignetem Bodenaushub ein grosses Verwertungspotenzial: Bei einer fachgerechten Umsetzung kann an ausgewählten Standorten eine nachhaltige Verbesserung der Boden- und Standorteigenschaften für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung erzielt werden. In Extremfällen ist sogar eine Nutzbarmachung eines vormals nicht bewirtschaftbaren Standortes denkbar (z.B. Rückführung von Deponien, Urbarmachung von Brachflächen usw.).

3. Bodenverbesserung – wozu?

Die Rekultivierung von Bodenaushub zur Bodenverbesserung stellt sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus ökologischen und bodenkundlichen Überlegungen eine sinnvolle und ressourcenschonende Verwertungsmöglichkeit dar. Bei einer optimalen Realisierung können folgende Ziele erreicht werden:

- Bodenfruchtbarkeit erhalten
- Boden für die landwirtschaftliche Nutzung verbessern
- (Teil-)Ersatz für quantitativen Flächenverlust schaffen
- Deponievolumen entlasten
- Umweltauswirkungen reduzieren

4. Problemstellung im Projekt Hochwasserschutz Linth 2000

4.1. Ausgangslage und Anliegen

In Zusammenhang mit dem Projekt Hochwasserschutz Linth 2000 wurde das Anliegen der Aushubverwertung zur Bodenverbesserung sowohl durch die Bauherrschaft als auch durch betroffene Landeigentümer thematisiert. Seitens der Bauherrschaft stand die umweltgerechte Verwertung in unmittelbarer Nähe zu den Aushubstellen im Vordergrund. Durch die Verwertung sollte eine Optimierung der ökologischen Auswirkungen der Aushubtätigkeiten resp. der Entsorgung des Aushubmaterials ermöglicht werden. Ebenso sollte den vom Flächenverlust betroffenen Bodeneigentümern eine Ersatzmassnahme geboten werden. Seitens der Bodeneigentümer wurden insbesondere der Flächenersatz und die langfristige Sicherung der landwirtschaftlichen Nutzung thematisiert. Aufgrund fehlender Ersatzflächen sollte dieser durch qualitative Verbesserungen kompensiert werden. In einer frühen Phase der Projektierung wurde deshalb eine Machbarkeitsbeurteilung der Aushubverwertung zur Umsetzung Bodenverbessernder Massnahmen in Auftrag gegeben. Diese zeigte, dass die Rekultivierung des qualitativ geeigneten Bodenaushubes auf ausgewählten Flächen grundsätzlich machbar ist. Die Beurteilung stützte sich u.a. auch auf die Erkenntnisse aus dem Entwicklungskonzept für die Linthebene ab [9].

4.2. Bodeneigenschaften im Projektperimeter

Die Böden im Projektperimeter sind hauptsächlich Grundwasser beeinflusst [8] [11]. Aufgrund der natürlichen Entwicklung der ursprünglichen Torfböden durch Mineralisierung und Überlagerung weisen die Bodenkörper eine starke Vermischung organischer und mineralischer Bodenhorizonte auf. Nur vereinzelt liegen «reine» organi-

sche oder mineralische Böden vor, dies vor allem im Bereich früherer Linthläufe resp. im Bereich geschützter Hinterläufe.

Parameter	Los REB	Los RER
Eigentum	Ortsgemeinde Benken	Allg. Genossame Reichenburg
Bodentyp	Bunt-/Fahlgley, Halbmoor	Buntgley, teilweise Halbmoor
Wasserhaushalt	Stark Grundwasser beeinflusst, periodische Vernässungen an der Bodenoberfläche	Dito
Flurabstand (Position Drainagesystem)	20 bis 100 cm, punktuell 0 cm	Ca. 50 cm bis 100 cm, punktuell ca. 20 cm
Drainagesystem	Funktion eingeschränkt, sanierungsbedürftig	Dito
Geländeniveau	Deutliche Niveauabsenkungen, vor allem aufgrund von Torfsackungen	Dito
Nutzungseignung	Futterbaulich mittelintensiv bis wenig intensiv nutzbar	Futterbaulich mittelintensiv nutzbar
Aussagen EKL [9]	Strategisches Kerngebiet	Dito
Bodenverbesserungspotenzial	Hoch: Reduktion der Bodendegradation, Flächensicherung für die landwirtschaftliche Nutzung	Dito

Abb. 1: Zusammenfassende Darstellung der Bodeneigenschaften der zwei Rekultivierungsprojekte.

4.3. Bodeneigenschaften Bodenaushub

Durch die Summe aller Baumassnahmen fielen insgesamt mehr als 300'000 m³ Bodenaushub an (Massenüberschuss, Linthkanal). Im Rahmen der Vorabklärungen der Rekultivierungsprojekte erfolgte eine ausführliche Machbarkeitsbeurteilung (technisch, wirtschaftlich, rechtlich). Die Qualitätseigenschaften des Bodenaushubes sowie die Massenbilanz waren die wesentlichen Entscheidungskriterien. Die Qualitätseigenschaften wurden mittels **Bodenansprachen (Autor: bitte Begriff hier in Klammern erklären)** beurteilt. Korngrössenverteilung, Bodenwasserhaushalt sowie Schwermetallbelastung im Bereich korrosionsgeschützter Strommasten waren die wichtigsten Beurteilungskenngrössen. Die Beurteilung der Schwermetallgehalte stützte sich auf die Verordnung über Belastungen des Bodens ab (vgl. SR 814.12). Zur Beurteilung der Korngrössenverteilung wurde ein Beurteilungsmodell entwickelt, welches die Identifizierung des für den Einbau geeigneten Bodenaushubes erlaubt.

Unter Berücksichtigung weiterer Aspekte (z.B. Bedarf für Dammbauten, Wirtschaftlichkeit, Bewilligung) erfolgte die Machbarkeitsbeurteilung, aus der die Massenbilanz zur möglichen Aushubverwertung hervorging. Diese umfasste für die zwei Rekultivierungsflächen eine Menge von rund 220'000 m³ Bodenaushub, welcher die Qualitätsanforderungen aus bodenkundlicher Sicht erfüllt und im Rahmen der Rekultivierungsprojekte verwertet werden konnte.

5. Lösungsansätze

Für die Erhaltung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung auf den erwähnten Rekultivierungsflächen standen verschiedene Lösungsansätze zur langfristigen Flächensicherung für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zur Diskussion.

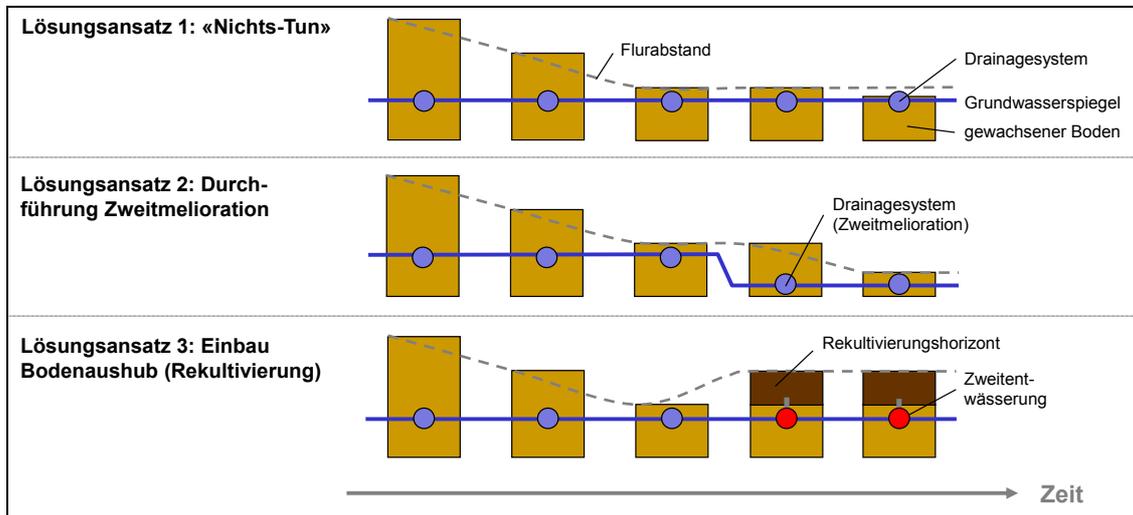


Abb. 2: Veränderung des Flurabstandes in Abhängigkeit der Meliorationsmassnahmen.

5.1. «Nichts-Tun»

Mit der Variante «Nichts-Tun» wird die aktuelle Situation auf den Rekultivierungsflächen nicht aktiv verändert. Durch das teilweise funktionsfähige Drainagesystem erfolgt weiterhin eine aktive Entwässerung des Bodenkörpers, was mit einer fortschreitenden Mineralisierung der organischen Substanz verbunden ist. Die Bodensackungen gehen weiter, bis der Boden vollständig vernässt und der Grundwasserspiegel an der Bodenoberfläche liegt (schleichende Bodendegradation). Eine futterbauliche Nutzung des Standortes ist mittel- bis langfristig ausgeschlossen, die Flächen müssen extensiviert werden (Streueflächen, Naturschutzgebiete).

5.2. Durchführung Zweitmelioration

Für die Erhaltung einer standorttypischen (mittel-)intensiven landwirtschaftlichen Nutzungseignung ist eine Zweitmelioration unumgänglich. Diese führt aber nur zu einer zeitlich limitierten Standortverbesserung. Die Torfsackungen können durch die Zweitmelioration nicht aufgehalten werden, sondern schreiten bis zum nächsten Gleichgewichtszustand fort (Wiedervernässung, vgl. Kapitel 5.1.). Deshalb müsste im Rahmen einer Zweitmelioration der Grundwasserstand abgesenkt werden, was entweder eine Absenkung der Gewässersohlen der Vorfluter oder die Installation von Pumpstationen nach sich ziehen würde. Dies ist technisch und finanziell sehr aufwendig. In der speziellen Situation der Linthebene ist eine derartige Lösungsvariante infolge fehlender Gefälle und Niveauunterschiede ausgeschlossen.

5.3. Einbau Bodenaushub (Rekultivierung)

Die Rekultivierung von mineralischem Bodenaushub mit einer Niveauanhebung stellt eine Alternative zur langfristigen Melioration der von Bodensackungen und Vernässung betroffenen Flächen dar. Durch den Einbau von geeignetem Bodenaushub kann der Flurabstand vergrössert und eine Standortverbesserung für die landwirtschaftliche Nutzung erreicht werden. Die Funktionsfähigkeit des Wasserhaushaltes im Rekultivierungshorizont wird durch eine Zweitentwässerung sichergestellt, welche zugleich das sanierungsbedürftige Drainagesystem ersetzt. Diese Massnahme unterstützt den Wasserhaushalt und den natürlichen Bodenbildungsprozess. Im Gegensatz zum gewachsenen Boden, der einen hohen Anteil an organischer Substanz enthält, handelt es sich beim Bodenaushub um mineralischen Boden. Die Struktur desselben wird durch die Entwässerung nicht beeinflusst, Bodensackungen sind deshalb innerhalb des Rekultivierungshorizontes nur in geringem Ausmass zu erwarten. Die Setzungen infolge Konsolidierung wirken sich flächig aus und können durch eine sorgfältige Geländemodellierung vorweggenommen werden. Die Durchführung der Rekultivierung mit anschliessender Installation einer Zweitentwässerung entspricht der Lösungsvariante der genannten Rekultivierungsprojekte.

5.4. Variantenwahl

Im Rahmen der Vorabklärungen kristallisierte sich die Lösungsvariante «Rekultivierung» als zielführend heraus. Folgende Rekultivierungsziele wurden formuliert:

- **Nachhaltige Flächensicherung:** Ausgewählte landwirtschaftliche Nutzflächen sind langfristig für die landwirtschaftliche Nutzung gesichert.
- **Boden- und Standortverbesserung:** Die stellenweise massiven Niveauunterschiede sind ausgeglichen, der Flurabstand nachhaltig vergrössert und die Pflanzen nutzbare Gründigkeit erhöht.
- **Bodenerhaltung:** Der natürlich entwickelte Boden bleibt langfristig erhalten.
- **Umweltgerechte Verwertung:** Der Bodenaushub ist aus ökologischen Überlegungen sinnvoll verwertet. Die Umweltauswirkungen des Projekts Hochwasserschutz Linth 2000 sind im Bereich Boden minimiert. Das knappe Deponievolumen ist entlastet.
- **Minimierung Verkehrsaufkommen:** Das Verkehrsaufkommen in Zusammenhang mit dem Projekt Hochwasserschutz Linth 2000 ist reduziert.

6. Projektumfang

Die zwei Rekultivierungsprojekte können folgendermassen umschrieben werden:

Parameter	Los REB	Los RER
Rekultivierungstechnik	Pro-Sol (kein Abhumusieren)	Pro-Sol (kein Abhumusieren)
Bodenaufbau	A-Horizont neu: 20 cm B-Horizont neu: durchschnittlich ca. 50 cm, abhängig von Geländeniveau Ausgangssituation resp. Geländemodell	A-Horizont neu: 20 cm B-Horizont neu: durchschnittlich ca. 70 cm, abhängig von Geländeniveau Ausgangssituation resp. Geländemodell
Rekultivierungsfläche	Rund 12 ha	Rund 13 ha
Kubaturen	100'000 m ³	120'000 m ³
Baustellenerschliessung	Öffentliche Strassen, Baustrassen sowie Transportpisten innerhalb der Rekultivierungsfläche	Dito
Zweitentwässerung	Erneuerung Drainagesystem nach Abschluss der Erdarbeiten	Dito
Bewilligung	Im Rahmen des Gesamtprojekts Hochwasserschutz Linth 2000, keine separate Bewilligung	Baubewilligung im Baugesuchverfahren (Terrainveränderung)

Abb. 3: Projektumfang der zwei Rekultivierungsprojekte.

7. Realisierung

7.1. Grundsätze

Die Rekultivierungsprojekte wurden als separate Baulose im Gesamtprojekt «Hochwasserschutz Linth 2000» bearbeitet. Sie wurden nach bodenkundlichen Gesichtspunkten geplant und in der Realisierung geleitet. Die Bauleitung wurde mit einer bodenkundlichen Baubegleitung erweitert. Die Verbesserung der Standort- und Bodenverhältnisse sowie die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit galten als Handlungsmaxime im gesamten Projektablauf.

7.2. Erdarbeiten

Die Erdarbeiten erfolgten gemäss aktuell gültiger Bodenschutzvorschriften und Richtlinien [u.a. 3]. Die Umsetzung der Bodenschutzvorschriften wurde detailliert geplant und mittels Bodenschutzkonzept und Bodenschutzprogramm dokumentiert. Hauptfokus bildeten die Definition der relevanten Entscheidungsgrössen sowie die Festlegung der Entscheidungswege und Verantwortlichkeiten. Die technische Umsetzung der Bauarbeiten stellte infolge der standorttypischen ungünstigen Tragfähigkeitseigenschaften eine grosse Herausforderung für Planung und Realisierung dar. Folgende Massnahmen sind in diesem Zusammenhang speziell zu erwähnen:

- **Baustellenerschliessung:** Für die Feinerschliessung der Rekultivierungsflächen wurden Transportpisten erstellt (Anlieferung Bodenaushub). Sie stellen das Befahren der Rekultivierungsfläche unter optimaler Lastverteilung sicher, minimieren die Bodenpressung und verhindern somit Bodenverdichtungen. Unter Berücksichtigung der ungünstigen Tragfähigkeitseigenschaften des gewachsenen Bodens wurden die Transportpisten mittels Holzschnitzeln erstellt. Diese Bauweise ermöglichte das Befahren des Rekultivierungsperimeters, ohne den Boden negativ zu beeinflussen [15].
- **Maschineneinsatz:** Ein direktes Befahren des Bodens wurde grundsätzlich ausgeschlossen. Nur in wenigen Ausnahmefällen wurde ein direktes Befahren gemäss Nomogramm freigegeben. Der Einbau des Bodenaushubes erfolgte mit Raupenbagger auf Baggermatratzen.



Abb. 4: Blick über die Rekultivierungsflächen aus der Vogelperspektive. Links: Einbau Bodenaushub Los RER; rechts: Bau Zweitentwässerung Los REB; 15. April 2011. (Fotos: KBA)

7.3. Rekultivierung

Die Rekultivierung der Einbauflächen erfolgte nach bodenkundlichen Grundsätzen. Grösstes Augenmerk wurde auf eine rasche und flächendeckende Begrünung gelegt, um Erosionen und Verschlammungen zu reduzieren, die Wurzelbildung zu fördern, die Krümelstabilität zu erhöhen und die biologische Aktivierung zu beschleunigen. Auf die Ansaat speziell tief wurzelnder Pflanzen wurde bewusst verzichtet und stattdessen eine schnell wachsende Klee-Gras-Mischung eingesetzt.

7.4. Qualitätssicherung und Bodenschutz

Folgende bodenkundliche Baugrundsätze wurden für die Realisierung definiert:

- Der Boden wird getrennt nach Bodenqualität ausgehoben und entsprechend bearbeitet. Verunreinigungen des Bodens werden vermieden.
- Nicht bewachsener Boden wird vor Witterungseinwirkungen geschützt.

- Der gewachsene Boden wird nicht befahren. Ist eine Überfahrt notwendig, wird diese nur bei trockenem Boden ausgeführt (vgl. Nomogramm).
- Nach Abschluss der Einbauarbeiten erfolgen unmittelbar die Bodenbearbeitung und die Ansaat einer standorttypischen Saatgutmischung.

In Ergänzung zu den Bodensondierungen im Rahmen der Projektierung erfolgte eine laufende Qualitätskontrolle des Bodenaushubes. Auf der Einbaufläche wurde eine Bodenprobe je Einbaucharge gezogen und bezüglich Körnungszusammensetzung analysiert (vgl. Kapitel 4.3.). Zusätzlich wurde die gesamte Rekultivierungsfläche mittels GPS vermessen. Von sämtlichen Bodenproben wurden Rückstellproben archiviert. Damit sind die Eigenschaften des eingebauten Bodens bekannt und die örtliche Zuordnung ist möglich. Dies gewährleistet eine hohe Rückverfolgbarkeit.

Die Überwachung der Witterung und Bodenkennwerte (v.a. Saugspannung) erfolgte mit automatischen und autonomen Bodenmessstationen. Damit war eine lückenlose Datenaufzeichnung und -auswertung möglich, was eine präzise Situationsbeurteilung hinsichtlich Baufreigabe und -stopps ermöglichte. Bei Bedarf erfolgte eine manuelle Beurteilung der Bodenkennwerte im unmittelbaren Umfeld der aktuellen Bauarbeiten, was eine räumlich und zeitlich feinere Auflösung der Messwerte erlaubte.

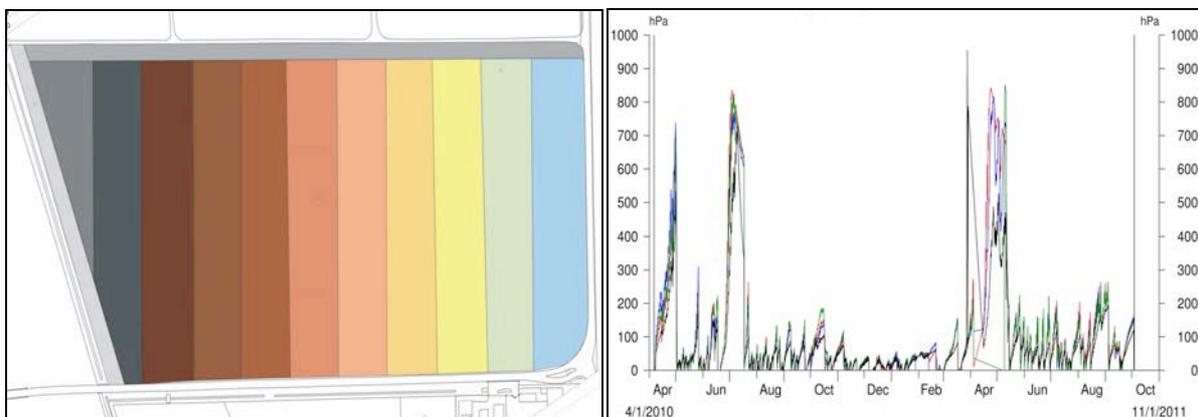


Abb. 5: Qualitätssicherung und Bodenschutz Los RER. Links: Etappierung Einbau und Rückverfolgbarkeit Herkunft Bodenaushub; rechts: Datenreihe Saugspannungswerte, 1. April 2010 – 1. November 2011.

8. Erfahrungen

Bodenverbesserungen sind vergleichsweise junge und wenig entwickelte Disziplinen. Dies zeigt sich unter anderem bei den Normen und Richtlinien. Sie sind auf Deponiestandorte und Kiesabbauflächen ausgerichtet und berücksichtigen in wichtigen Bereichen die speziellen Gegebenheiten bei Bodenverbesserungen zu wenig (spezifische Projekteigenschaften, heterogener Baugrund und Baustoff sowie zeitliche Variabilität der externen Einflussfaktoren wie Witterung, Bodenwasserhaushalt und Vegetation). Ein Standardisieren der Einflussfaktoren ist unmöglich, weshalb

ein interaktives Vorgehen erforderlich ist: laufende Analyse und Neubeurteilung der Situation sowie Ableitung der geeigneten Massnahmen. Im Folgenden werden weitere Erfahrungen bei der Realisierung der zwei Rekultivierungsprojekte beschrieben.

- **Projektierung und Bauleitung:** Die Projektierung hat aus Sicht der übergeordneten Zielsetzung (Bodenverbesserung) nach bodenkundlichen Gesichtspunkten zu erfolgen. Die Bauleitung hat durch eine bodenkundliche Fachperson zu erfolgen und ist mit den notwendigen Kompetenzen auszustatten (Bauleitung und bodenkundliche Baubegleitung).
- **Schnittstellen:** Das Handling von Schnittstellen ist ein wesentlicher Faktor für eine erfolgreiche Projektrealisierung (Bedürfnisse und Ansprüche von Bauherrschaft, Eigentümer, Bewirtschafter, Unternehmungen, Vollzugsbehörden sowie weiterer direkt oder indirekt Betroffener). Je nach Projektorganisation sind die Aushub- und Einbauarbeiten organisatorisch getrennt.
- **Standorteigenschaften:** Eine Rekultivierungsfläche wird gezielt ausgewählt, um an diesem Standort eine Standort- und Bodenverbesserung zu erreichen. Somit weist sie limitierende Standorteigenschaften auf, die bei der Realisierung erschwerend sein können (z.B. eingeschränkte Tragfähigkeit des Untergrundes, reduzierter Flurabstand). Bei den beschriebenen Rekultivierungsprojekten war der Einsatz GPS-gesteuerter Maschinen trotz der Stabilisierung des Baugrundes mit Baggermatratzen eingeschränkt.
- **Qualitätssicherung:** Bodenverbesserungsmassnahmen erfordern eine systematische und lückenlose Qualitätssicherung und Rückverfolgbarkeit. Diese beinhaltet eine sorgfältige Bodenbeurteilung im Vorfeld, eine laufende Überwachung der Qualitätseigenschaften des zugeführten Bodenaushubes sowie eine zeitliche und räumliche Dokumentation des Baufortschrittes. Die Siebkurvenanalyse zur Korngrössenbestimmung hat sich bewährt. Je besser die Ausführungsdetails dokumentiert sind, umso gezielter und effizienter können Mängel oder Probleme rückverfolgt, beurteilt und beseitigt werden.
- **Boden- und Witterungsverhältnisse:** Witterung und Saugspannung stellen die zentralen Einflussgrössen bezüglich Baufreigabe und -stopp dar. An Standorten mit einer Limitierung bezüglich Wasserhaushalt und Flurabstand ist die Einhaltung der minimalen Saugspannungswerte eine zusätzliche Herausforderung. Eine Freigabe einzelner Arbeiten im Grenzbereich ist unter Umständen notwendig, um Folgeprobleme zu verhindern. Der Einfluss von Witterung und Saugspannung ist zusätzlich abhängig von der Jahreszeit (Einflussgrössen: Evapotranspiration und Bodentemperatur).
- **Bodenmessstation:** Mit dem Einsatz einer automatischen und autonomen Bodenmessstation können die relevanten Entscheidungsgrössen kontinuierlich überwacht und beurteilt werden (vgl. Qualitätssicherung). Ergänzende Vor-Ort-Kontrollen sind trotzdem notwendig.

- **Realersatz:** In den erwähnten Projekten konnten für die betroffenen Bewirtschafter in der Zeitspanne von Baubeginn bis Flächenfreigabe Ersatzflächen angeboten werden. In Einzelfällen wurde eine Ertragsausfallsentschädigung ausbezahlt. Damit konnte der Nutzungsdruck reduziert werden.
- **Nutzungsunterbruch:** Rekultivierte Flächen weisen eine gestörte und instabile Bodenstruktur auf. Sie sind anfällig gegenüber Strukturschäden und Verdichtung. Die Regeneration des Bodenkörpers und der typischen Bodenfunktionen benötigt ausreichend Zeit (vor allem biologische Aktivierung, Wasserhaushalt und Strukturbildung). Während dieser Phase ist der Boden nur beschränkt belastbar und kann nur eingeschränkt genutzt werden. Die Dauer der eingeschränkten Nutzung ist von verschiedenen Faktoren abhängig und dauert in der Regel mindestens vier Jahre [16]. Bei den realisierten Projekten dauert diese Phase aufgrund der Zweitentwässerung fünf Jahre.
- **Folgebewirtschaftung:** In der Zeit bis zur Flächenfreigabe ist grundsätzlich nur eine Grünlandnutzung zulässig. Im Fall der zwei Rekultivierungsprojekte wurde nach einer ersten Konsolidierungsphase (einjährige Schnittnutzung) eine Beweidung mit Eseln, Schafen und Jungvieh bis max. 200 kg freigegeben, dies aufgrund der erschwerten Bewirtschaftungsmöglichkeiten (Erdbälle entlang Leitungsverlauf Zweitentwässerung). Trotz widersprüchlicher Empfehlungen in den Richtlinien hat sich dies bewährt.
- **Bewirtschaftungsvorschriften:** Zur Koordination und Überwachung der Bewirtschaftungsvorgaben wurde ein Vertreter des Bodeneigentümers bestimmt. Damit übernimmt der Bodeneigentümer die Verantwortlichkeit.
- **Ökologische Ersatzmassnahmen:** Ökologische Ersatzmassnahmen sind in der Regel Bestandteil einer Bewilligung. Im vorliegenden Fall wurden Naturschutzgebiete durch Extensivierung angrenzender Flächen vergrössert.

9. Ausblick

Die beiden Projekte wurden plangemäss und erfolgreich realisiert. Der Projektabschluss erfolgt frühestens 2014 (Los REB) resp. 2016 (Los RER). Gestützt auf die aktuellen Projekterfahrungen wird abschliessend auf folgende Punkte hingewiesen:

- **Monitoring:** Im Los REB erfolgt ein mehrjähriges Monitoringprojekt durch die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Eine systematische Erfolgskontrolle beider Projekte ist nicht vorgesehen, obwohl verschiedene Praxisbeispiele die Notwendigkeit eines Monitorings aufzeigen. Dies dient in erster Linie der Dokumentation der Bodenentwicklung, der Früherkennung möglicher Probleme und dem Ableiten geeigneter Massnahmen. Ebenso können damit der Projekterfolg nachgewiesen, die Bauherrschaft entlastet und Erfahrungen für Folgeprojekte gewonnen werden [u.a. 13].

- **Entwässerungsmassnahmen:** Die beschriebenen Rekultivierungsprojekte beinhalten nebst den Erdarbeiten auch die Erneuerung des Drainagesystems (Zweitentwässerung). Die Notwendigkeit einer zwingenden Kombination von Bodenverbesserung und Entwässerung ist nicht abschliessend geklärt. Ebenso ungeklärt ist, ob zukünftig ein drainierter Standort als Rekultivierungsstandort überhaupt in Betracht gezogen kann.
- **Bewilligungspraxis:** Die Bewilligungspraxis von Bodenverbesserungen und Rekultivierungen ist kantonal unterschiedlich. Im einfachsten Fall ist ein Baugesuchsverfahren möglich. Ebenfalls bekannt ist das Sondernutzungsplanverfahren, welches ein komplizierteres sowie zeitlich und finanziell aufwändigeres Verfahren nach sich zieht. In Zukunft ist mit einer steigenden Nachfrage nach einer umweltgerechten Verwertung von Bodenaushub zu rechnen, weshalb eine harmonisierte, einfache Bewilligungspraxis nötig ist, welche sich auf die bodenkundlichen Fachinhalte konzentriert.
- **Handlungsbedarf Bodenverbesserung Linthebene:** Es ist bekannt, dass in der Linthebene grossräumig ein Bedarf zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktionsgrundlage Boden besteht. Die Rekultivierung von Bodenaushub ist ein erfolgreicher Lösungsansatz.

Literaturverzeichnis:

- [1] Bundesamt für Statistik. 2012. Umweltstatistik Schweiz in der Tasche. Neuchâtel.
- [2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 1999. Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie). Bern.
- [3] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 2001. Bodenschutz beim Bauen. Bern.
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 2001. Wegleitung: Verwertung von ausgehobenem Boden – Wegleitung Bodenaushub. Bern.
- [5] Bundesamt für Umwelt. 2007. Bodenschutz Schweiz – Ein Leitbild. Bern.
- [6] Bundesamt für Umwelt. 2008. Abfallwirtschaftsbericht 2008. Bern.
- [7] Bundesamt für Umwelt. 2009. Abfallwegweiser Aushubmaterial. www.bafu.admin.ch
- [8] Eidg. Linthverwaltung. 2003. Bodenkarte – Wasserhaushalt des Bodens. Uznach und Kaltbrunn.
- [9] Klaus Büchel Anstalt. 2006. Kantonsübergreifendes Entwicklungskonzept für die Linthebene, EKL 2003 – Teilprojekt 1: Raumkonzept Landwirtschaft. Mauren.
- [10] Klaus Büchel Anstalt. 2006. Rekultivierung Benkner Riet – Vorprojekt. Mauren.
- [11] Klaus Büchel Anstalt. 2008 – 2011. Bodenkartierungen im Projektperimeter «Hochwasserschutz Linth 2000». Mauren. Unveröffentlicht.
- [12] Klaus Büchel Anstalt. 2009. Bodenverbesserung KTN 793 – Technischer Bericht. Mauren.
- [13] Klaus Büchel Anstalt. 2011. Erfolgskontrolle von Rekultivierungsflächen. Vaduz. Unveröffentlicht.
- [14] Kleiner J., Schuppli A., Schüppel S. 2008. Landschaftsgestaltung mit sauberem Aushub: Beispielkatalog und Auswertung. Rapperswil.
- [15] Presler J., Gysi M., Vogt M. Verwendung von Holzschnitzelpisten zum Schutz des Bodens vor übermässiger Belastung durch Baumaschinen. Unveröffentlichte Notizen.
- [16] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute. 2000. SN 640 583. Erdbau, Boden – Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme. Zürich.