



Erdbau, Boden

Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme

1. Anwendungsbereich

Diese Norm behandelt den Bodenschutz beim Eingriff in den Boden, beim Bau von Verkehrswegen und übrigen tiefbaulichen Arbeiten sowie die anschliessende Wiederherstellung und Abnahme des Bodenaufbaus.

2. Gegenstand und Zweck

In der Norm werden behandelt (Abbildung 1):

- Bodenkundliche Baubegleitung
- Zwischenlagerung von Bodenaushub
- Bodenschutzmassnahmen während des Bauens
- Wiederherstellung, Schadensbehebung, Rekultivierung und Folgebewirtschaftung von Boden

Grundlagen zum Thema Boden sind in [1] beschrieben. Die Erfassung des Ausgangszustandes und die Triage von Bodenaushub sind Bestandteil von [2].

3. Bodenkundliche Baubegleitung

Die bodenkundliche Baubegleitung ist von Fachleuten [6] in allen Phasen des Projektes (Abbildung 1) durchzuführen. Bei Grossprojekten ist das Pflichtenheft der bodenkundlichen Baubegleitung Bestandteil der Bewilligungsaufgaben. Der Inhalt des Pflichtenheftes ist in Tabelle 1 beschrieben.

Ein dem Projektumfang angepasstes Pflichtenheft kann auch bei kleineren Projekten angewendet werden.

Terrassement, sol

Emprises et terrassements, entreposage, mesures de protection, remise en place et restitution

1. Domaine d'application

Cette norme traite des bases pour la protection du sol lors de la construction de voies de communication ou de toutes autres interventions de génie civil. Elle traite également la remise en place des sols et la restitution des parcelles.

2. Objet et but

Cette norme traite (figure 1) de:

- La protection des sols sur les chantiers
- L'entreposage des matériaux terreux
- La mise en œuvre des mesures de protection
- La remise en place, la réparation des dégâts, la remise en culture et la restitution des parcelles

Les concepts de base sont expliqués dans [1]. La description de l'état initial et du tri des matériaux terreux font partie de [2].

3. Protection des sols sur les chantiers

La protection des sols sur les chantiers doit être assurée par des spécialistes [6] durant toutes les phases du projet (figure 1). Pour les chantiers importants, le cahier des charges des spécialistes de la protection des sols fait partie des conditions liées à l'approbation du projet. Le contenu de ce cahier des charges est décrit dans le tableau 1.

Pour les projets de peu d'importance, un cahier des charges adapté aux conditions du chantier peut être appliqué.

Bodenschutz = Schutz der Bodenfruchtbarkeit

Qualitativer Schutz

Umweltschutzgesetz, Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö)

CHEMISCH:
Eintrag und Anreicherung
schädlicher chemischer
Substanzen verhindern

PHYSIKALISCH:
Bodenschädigende mecha-
nische Einwirkungen ver-
meiden

BIOLOGISCH:
Schutz der standorttypischen
biologischen Vielfalt. Vermeiden
lebensschädlicher Einwirkungen

Quantitativer Schutz

Raumplanungsgesetz

FLÄCHENSCHUTZ:
Rationeller und sparsamer
Umgang mit der Boden-
fläche

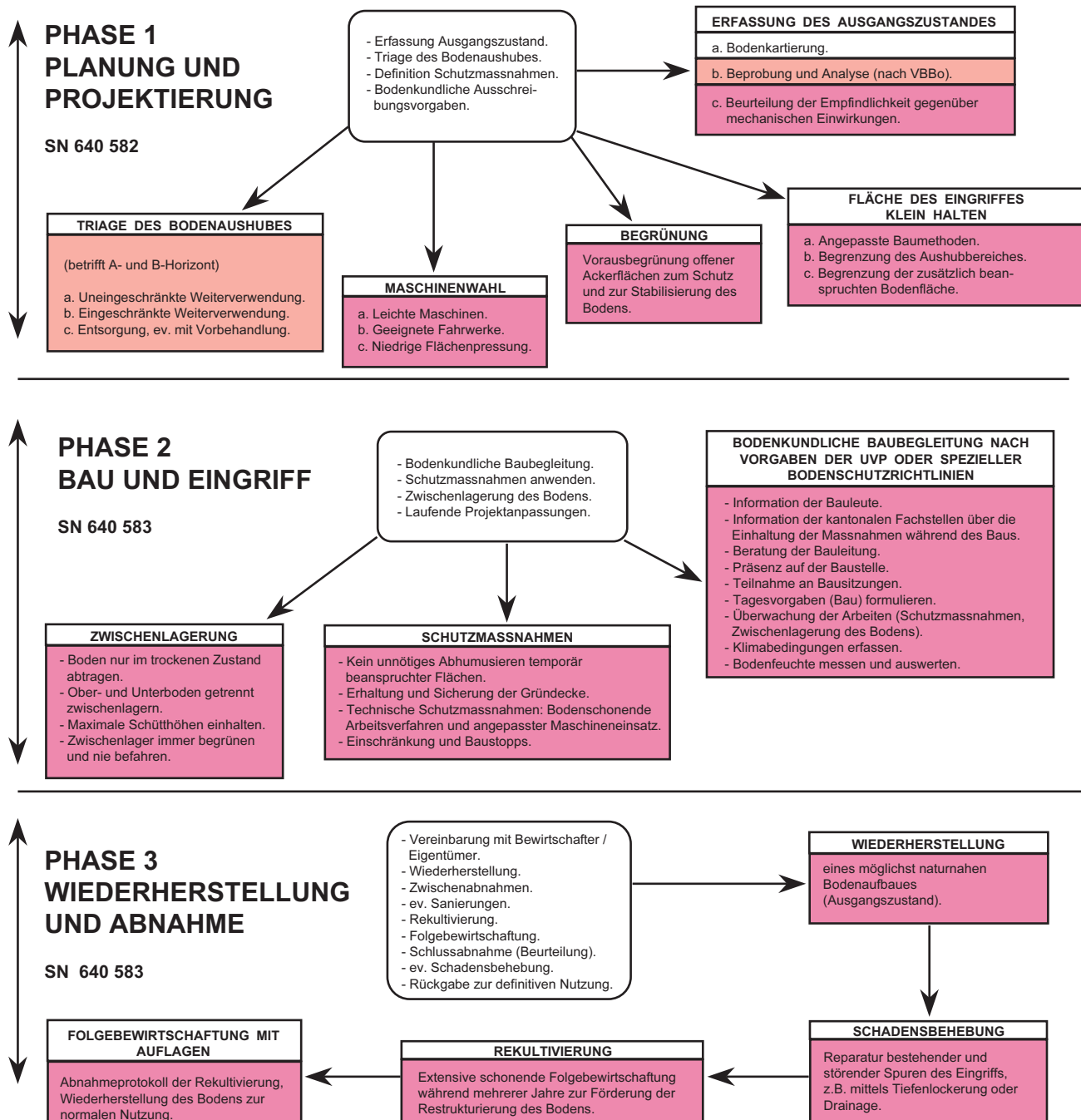


Abb. 1
Bodenschutz vor, während und nach dem baulichen Eingriff

Protéger le sol = Préserver sa fertilité

Protection qualitative du sol

Loi sur la protection de l'environnement,
Ordonnance sur la protection des sols contre les atteintes (OSol)

Protection quantitative

Loi sur l'aménagement
du territoire

CHIMIQUE:
Empêcher l'introduction et
l'accumulation de polluants
dans les sols

PHYSIQUE:
Eviter toute intervention
mécanique dommageable
pour les sols

BIOLOGIQUE:
Protéger la diversité biologique
typique d'une station. Eviter les
atteintes à la vie des sols

SURFACE:
Utiliser de manière
économique et rationnelle
les sols

PHASE 1 PROJET ET ETUDES PRELIMINAIRES

SN 640 582

TRI DES MATERIAUX TERREUX MANIPULES

(concerne les horizons A et B)
a. Réutilisation sans problème.
b. Restrictions à la réutilisation.
c. Stockage définitif, évent. avec
traitement préliminaire.

- Caractérisation de l'état initial.
- Tri des matériaux terreux
manipulés.
- Définition des mesures de
protection.
- Cahier des charges pour l'étude
pédologique.

CHOIX DES MACHINES

a. Machines légères.
b. Surface de contact adaptée.
c. Faible pression au sol.

VEGETALISER LES SOLS

Végétalisation préalable des
emprises pour protéger et
stabiliser les sols.

CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL

a. Cartographie des sols.
b. Echantillonnage et analyses (selon OSol).
c. Evaluation de la sensibilité des sols aux
atteintes physiques.

MINIMISER LES EMPRISES

a. Adapter les méthodes de construction.
b. Limiter les surfaces à excaver et décaper.
c. Limiter les emprises des installations de
chantier.

PHASE 2 CONSTRUCTIONS ET EMPRISES

SN 640 583

ENTREPOSAGE

- Ne manipuler que des sols bien ressuyés.
- Entreposer séparément la couche
supérieure du sol et le sous-sol.
- Respecter les hauteurs maximales des tas.
- Toujours ensemençer les matériaux
terreux entreposés et ne pas rouler
dessus.

- Protection des sols sur les chantiers.
- Mise en œuvre des mesures de
protection.
- Entreposage des matériaux terreux.
- Adaptations régulières du projet.

MESURES DE PROTECTION

- Minimiser les emprises tant que faire se peut.
- Assurer en tout temps la couverture végétale des sols.
- Mesures techniques de protection: méthodes de travail
ménageant les sols et emploi des machines adéquates.
- Restrictions et arrêts de chantier.

PROTECTION DES SOLS SUR LES CHANTIERS SELON LES PRESCRIPTIONS DES EIE OU DES DIRECTIVES DE PROTECTION DES SOLS

- Information du personnel du chantier.
- Information des services cantonaux de la protection
des sols sur les respects des mesures durant le chantier.
- Conseil de la direction du chantier.
- Présence sur le chantier.
- Participation aux réunions de chantier.
- Rédaction des prescriptions journalières pour le
chantier.
- Surveillance des travaux (mesures de protection,
entreposage des sols).
- Relevés des données météorologiques.
- Mesure de l'état d'humidité du sol et mise en valeur.

PHASE 3 REMISE EN PLACE ET RESTITUTION

SN 640 583

RESTITUTION AVEC CAHIER DES CHARGES

Protocole de restitution des parcelles.
Passage à une utilisation normale.

- Convention avec l'exploitant/
propriétaire.
- Remise en place.
- Restitution intermédiaire.
- évtl. assainissements.
- Remise en culture.
- Exploitation de transition.
- Restitution (évaluation).
- évtl. réparation des dégâts.
- Restitution finale pour utilisation
normale.

REMISE EN CULTURE

Exploitation extensive et prudente durant
plusieurs années pour favoriser la
restructuration du sol.

REMISE EN PLACE

Reconstituer le plus fidèlement le
sol (état initial).

REPARATION DES DEGATS

Elimination des atteintes
constatées et dommageables,
p. ex. sous-solage ou drainage.

Fig. 1
Protection des sols avant, pendant et après les travaux

Tab. 1
Pflichtenheft der bodenkundlichen Baubegleitung

Phase 1: Planung und Projektierung [2]

- Bodenschutzmassnahmen: Vorschläge zum Schutz verdichtungsempfindlicher Böden, Massnahmenpläne und Projektanpassungen oder -änderungen.
- Mitarbeit bei Arbeitsvergabe: Vorgaben zu Maschinenlisten, Verfahren, Zeitplänen, Schlechtwetterregelungen und Baueinstellungen.
- Materialmanagement: Planung der Triage des Bodenaushubes, der Materialflüsse und der Zwischenlager.
- Orientierung der betroffenen Eigentümer und Bewirtschafter im Hinblick auf die vorgängige Begrünung offener Ackerflächen im Baubereich.

Phase 2: Bau und Eingriff

- Einrichtung und Unterhalt von Messstationen zur laufenden Erfassung von Niederschlägen und Saugspannung mittels Tensiometern zwecks Beurteilung des Maschineneinsatzes [6] (Abbildung 2, Tabellen 4 und 5).
- Information der Bauleute über den Bodenschutz und die resultierenden Massnahmen auf der Baustelle [12].
- Beratung der Bauleitung in allen Fragen des Bodenschutzes: Ausscheidung genügender und geeigneter Flächen für Zwischenlager (Tabelle 2) sicherstellen, Vor-Ort-Begleitung des Bodenabtrages, Formulierung der Bauvorgaben und Anordnung allfälliger Schutzmassnahmen.
- Teilnahme an allen bodenrelevanten Bausitzungen, selbständige Beobachtung des Zeitplanes, Präsenz und vorausschauende Kontrolle in bodenrelevanten Phasen des Bauablaufes.
- Information der kantonalen Bodenschutzfachstellen über den Bauablauf und die Einhaltung der Massnahmen während des Baus.

Phase 3: Wiederherstellung und Abnahme

- Begleitung der Rekultivierung unter Beachtung der zulässigen Saugspannungen (Abbildung 2).
- Abnahme der wiederaufgebauten Böden (Werkabnahme), zusammen mit Vertretern der Unternehmung, der Bauherrschaft und der Landeigentümer/Bewirtschafter mit Abnahmeprotokoll (Abbildung 3).
- Begleitung von Massnahmen zur Schadensbehebung (allfällige Tiefenlockerung, Drainagen etc.).
- Aufklärung der Bewirtschafter über die korrekte Folgebewirtschaftung zur Restrukturierung der wiederaufgebauten Böden (Tabelle 7).
- Schlussabnahme der Flächen, Vergleich des Erreichten mit dem Ausgangszustand (Spatenprobe [2]) und Freigabe zur normalen Nutzung.

Tab. 1
Cahier des charges des spécialistes responsables de la protection des sols sur les chantiers

Phase 1: Projet et études préliminaires [2]

- Mesures de protection des sols: Propositions pour protéger les sols sensibles à la compaction, adaptations ou modifications du plan des mesures et du projet.
- Participation à l'attribution des travaux: Exigences posées au parc des machines, organisation des travaux, planning, interruptions pour mauvaises conditions météorologiques.
- Management des matériaux terreux: Planification du tri des matériaux terreux, de leurs mouvements et de leurs entreposages.
- Information des propriétaires et exploitants concernés sur la mise en herbe préalable des surfaces de terres ouvertes faisant partie des emprises du chantier.

Phase 2: Construction et emprises

- Installation et surveillance des stations de mesures des précipitations et des forces de succion à l'aide de tensiomètres, afin de déterminer l'engagement des machines [6] (figure 2, tableaux 4 et 5).
- Information du personnel de chantier quant à la protection des sols et des mesures qui en découlent pour le chantier [12].
- Conseil de la direction du chantier pour toutes les questions de la protection des sols: Délimitation en quantité et en qualité des surfaces suffisantes pour l'entreposage des matériaux terreux (tableau 2). Accompagnement sur place des travaux de décapage. Rédaction des règles de travail et mise en œuvre d'éventuelles mesures de protection des sols.
- Participation à toutes les réunions de chantier en rapport aux sols, surveillance indépendante du planning des travaux, présence et contrôle préventif pour toutes les phases des travaux touchant aux sols.
- Pendant la phase de construction, information des services cantonaux chargés de la protection des sols sur le déroulement des travaux et sur le respect des mesures prescrites pour protéger les sols.

Phase 3: Remise en place et restitution

- Supervision des remises en place en tenant compte du respect des valeurs de force de succion prescrites (figure 2).
- Restitution des parcelles de sol reconstitué (remise d'ouvrage) en présence de représentants du constructeur, du maître de l'ouvrage et des propriétaires/exploitants, avec protocole de restitution (figure 3).
- Accompagnement des travaux de réparation d'éventuels dégâts (sous-solage, drainage, etc.).
- Instruction de l'exploitant sur les règles culturales à observer pour assurer une bonne restructuration des sols remis en place (tableau 7).
- Restitution définitive des parcelles, évaluation de l'état obtenu par rapport à l'état initial (test à la bêche [2]) et libération pour une utilisation normale.

4. Zwischenlagerung von Boden

Das Zwischenlagern von Bodenmaterial (Tabelle 2) ist immer dann notwendig, wenn eine Fläche nach erfolgtem Eingriff wiederhergestellt wird, d.h. der Boden wieder als Pflanzenstandort bzw. als land- oder forstwirtschaftliche Nutzfläche rückgeführt werden muss. Ober- und Unterboden [1] müssen immer getrennt abgetragen, zwischengelagert und weiterverwendet werden. Das Anlegen von Zwischenlagern soll überall dort, wo eine direkte Umlagerung möglich ist, vermieden werden.

Bei der Zwischenlagerung von Böden gilt es folgende Regeln einzuhalten [3], [4], [7]:

- Genügend Fläche für Zwischenlager einplanen
- Die Umlagerung des Bodenmaterials muss mit möglichst wenigen Umschlagvorgängen erfolgen
- Alle Arbeiten dürfen nur bei genügend trockenem Boden ausgeführt werden (Tabelle 2)

4. Entreposage des matériaux terreux

L'entreposage des matériaux terreux (tableau 2) est impératif dans les cas où une surface découverte doit être reconstituée, c.-à-d. lorsque le sol doit être remis en culture, p.ex. pour l'agriculture ou la sylviculture. La couche supérieure du sol et le sous-sol [1] doivent toujours être manipulés, entreposés et réutilisés séparément. Dans tous les cas où il est possible de réutiliser directement les matériaux terreux, on évitera de les entreposer.

Lors de l'entreposage des matériaux terreux, on observera les règles suivantes [3], [4], [7]:

- Prévoir de réserver suffisamment de place pour l'entreposage
- La manipulation des matériaux terreux doit être la plus directe possible en limitant au maximum le nombre des interventions
- Les travaux ne seront effectués que lorsque les sols sont bien ressuyés (tableau 2)

Tab. 2

Schütthöhen und Saugspannungen bei der Zwischenlagerung von Bodenaushub [4]

Tab. 2

Mesures pour l'entreposage de divers matériaux terreux [4]

Art des Bodenaushubes Type de matériaux terreux	Lose Schütthöhe des Zwischenlagers: Hauteur du tas non tassé:	Zulässige Saugspannungen (Abb. 2, Tab. 4 und 5) bei Abtrag/Schüttung: Force de succion (fig. 2, tableau 4 et 5) à respecter pour décaper et mettre en tas:	Allgemein gültige Massnahmen: Mesures généralement applicables:
Oberboden für kurzfristige Zwischenlagerung (< 1 Jahr) Couche supérieure du sol pour entreposage court (< 1 an)	≤ 2,5 m	sandig / sableux: > 25 Centibar tonig / argileux: > 35 Centibar [1]	– Ober-/Unterboden immer getrennt abtragen und zwischengelagern. Toujours décaper et entreposer la couche supérieure et le sous-sol séparément. – Zwischenlager auf gut durchlässiger [1], nicht verdichtungsgefährdeter [2] Unterlage anlegen. Lagerflächen nicht abhumusieren. Entreposage sur des surfaces bien perméables [1], non sensibles au tassement [2]. Ne pas décaper les sols. – Zwischenlager nie mit Baumaschinen befahren und nie mit Rindern beweiden. Zwischenlager mit Tiefwurzeln begrünen. Ne jamais rouler sur les tas et ne pas les pâturer. Enherber les tas avec des plantes à enracinement profond.
Oberboden für langfristige Zwischenlagerung (> 1 Jahr) Couche supérieure du sol pour entreposage long (> 1 an)	≤ 1,5 m	sandig / sableux: > 25 Centibar tonig / argileux: > 35 Centibar [1]	
Unterboden, stark bis extrem verdichtungsempfindlich [2] Sous-sol: fortement à extrême- ment sensible au tassement [2]	≤ 1,5 m	> 35 Centibar	
Unterboden, normal bis schwach verdichtungsempfindlich [2] Sous-sol: normalement à faible- ment sensible au tassement [2]	≤ 2,5 m	> 25 Centibar	
Unterboden, kaum verdichtungs- empfindlich [2] Sous-sol: peu sensible au tasse- ment [2]	> 2,5 m	> 15 Centibar	

5. Schutzmassnahmen beim baulichen Eingriff

5.1 Flächenschutz

Für alle tiefbaulichen Vorhaben gilt als Grundsatz, dass der Eingriff möglichst kleinflächig zu erfolgen hat (Tabelle 3).

Damit ein umfassender Schutz des gewachsenen Bodens erreicht wird, soll das Bauvorhaben so gewählt werden, dass sich das Abhumusieren allein auf die Fläche des Eingriffes konzentriert und auf grossflächigen Abtrag von Oberboden soweit als möglich verzichtet wird. Grundsätzlich rechtfertigt sich der Oberbodenabtrag (Abhumusieren) nur dort, wo der bauliche Eingriff stattfindet, also auch Unterboden ausgehoben wird, sowie bei längerfristigen Anlagen (> 1 Jahr: z.B. Installationsplätze, Umfahrungsstrassen, Transportpisten). Werden für Transport beanspruchte Flächen rechtzeitig als Wiese durchgehend begrünt, so sind sie strapazierfähig genug, um auch grössere Materialtransporte mit angepassten Transportmitteln zu tragen (Einsatz leichter Raupentransporter statt Lastwagen). Zeitlich beschränkte Kiespisten und Installationsplätze (< 1 Jahr) werden direkt auf begrüntem Oberboden angelegt.

Je nach Umfang eines Bauvorhabens und der bodenphysikalischen Rahmenbedingungen soll durch die Gegenüberstellung verschiedener Möglichkeiten des Flächenschutzes ein optimaler und wirtschaftlicher Bauablauf sichergestellt werden.

5.2 Angepasster Maschineneinsatz

Die Beurteilung der Verdichtungsempfindlichkeit resp. der Befahrbarkeit von Böden erfolgt im Rahmen der Bodenkartierung bei der Erfassung des Ausgangszustandes [2].

Bei der Auswahl der Baumaschinen ist in jedem Fall auf geringes Gesamtgewicht, kleine Flächenpressung (< 0,5 bar) und geeignete Fahrwerke (lange, breite Raupen) zu achten (Abbildung 2 und Tabelle 5). Der Einsatz leichter Maschinen mit Moorfahrwerken ist dem Verlegen von Baggermatrizen, Druckverteiltern, mobilen Betonpisten, temporären Kiespisten o.ä. generell vorzuziehen [11]. Der Einsatz von Pneubaggern, Lastwagen und Muldenkippern ist nach Möglichkeit auf Kiespisten oder in Fahrgassen auf dem Ausgangsmaterial (C-Horizont [1]) vorzusehen.

Der zulässige Maschineneinsatz wird durch die mit Tensiometern gemessene Saugspannung in Abhängigkeit von Gesamtgewicht und Flächenpressung der entsprechenden Maschine festgelegt [6] (Abbildung 2, Tabellen 4 und 5). Bei Saugspannungen < 10 Centibar ist jegliches Befahren von Boden untersagt.

6. Wiederherstellung und Abnahme

Bei temporär beanspruchten Böden besteht das Ziel der Wiederherstellung darin, den erfassten Ausgangszustand [2] zu erreichen. Bei neuangelegten Böden (z.B. über Deponien, Tagbautunneln, Galerien) ist das Ziel der Wiederherstellung deren zukünftige Nutzung (Land- und Forstwirtschaft, Grünflächen) [5].

Wiederherstellung und Abnahmen erfolgen gemäss Ablauf in Tabelle 6 [3], [6], [7], [8], [9].

5. Mesures de protection sur les chantiers

5.1 Minimiser les emprises

Pour tous les travaux de génie civil, il faut appliquer la règle de base qui consiste à minimiser les emprises tant que faire se peut (tableau 3).

Pour obtenir une protection globale des sols en place, il faut choisir un mode de construction qui restreigne les décapages aux seules surfaces à terrasser et qui renonce à des décapages superficiels de convenance. Le décapage de la couche supérieure du sol n'est justifiable que sur les surfaces concernées par des terrassements, c.-à-d. là où le sous-sol sera excavé ou pour des installations de longue durée (> 1 an, p.ex. installations de chantier, routes d'évitement, pistes provisoires). Si elles sont enherbées suffisamment à l'avance, les surfaces nécessaires pour les mouvements du chantier résisteront même au transport de lourdes charges, ceci pour autant que les véhicules soient adaptés aux conditions (p.ex. véhicules légers à chenilles à la place des camions). Des pistes temporaires en gravier ou des installations provisoires (< 1 an) seront installées directement sur le sol enherbé.

Selon l'importance du chantier et les caractéristiques de la physique des sols concernés, on veillera à définir un mode de construction optimal et économique, en comparant les diverses options pouvant contribuer à la minimisation des emprises.

5.2 Engagement adéquat des machines

L'évaluation de la sensibilité des sols au compactage et de leur viabilité est effectuée dans le cadre de la cartographie de l'état initial des sols [2].

Lors du choix des machines, on veillera dans tous les cas à minimiser le poids total, à réduire la pression au sol (< 0,5 bar) et à choisir des trains de roulement adéquats (chenilles larges et portantes), (figure 2 et tableau 5). L'emploi de machines légères munies de chenilles pour terres noires doit en général être préféré à la pose de pistes en rondins, plaques mobiles en matériaux divers, pistes en gravier, etc [11]. L'engagement des trax, camions et bennes à pneus devrait dans la mesure du possible être prévu sur des pistes en gravier ou dans des pistes excavées jusqu'au matériau parental (horizon C [1]).

L'engagement des machines dépendra des forces de succion mesurées à l'aide de tensiomètres, du poids total de la machine considérée et de sa pression au sol [6], (figure 2, tableaux 4 et 5). En dessous d'une force de succion de 10 centibars, il est strictement interdit de rouler sur le sol.

6. Remise en place des sols et restitution

Dans le cas des sols soumis à des emprises temporaires, l'objectif de la remise en place vise à rétablir l'état initial constaté [2]. Pour des sols créés (p.ex. couverture de décharge, tunnel à ciel ouvert, galerie), l'objectif de la reconstitution dépendra de la future utilisation (agricole ou sylvicole, espaces verts et surfaces naturelles) [5].

La remise en place et la restitution s'effectueront suivant la procédure décrite dans le tableau 6 [3], [6] [7], [8], [9].

Tab. 3
Verschiedene Bauvorhaben und Oberbodenabtrag

Tab. 3
Types de chantier et manipulations de la couche supérieure du sol

Bauvorhaben Type de chantier	Boden begrünen, nicht abtragen Enherber le sol, ne pas le décaper	Boden abtragen und direkt wiederanlegen Décaper et réutiliser de suite	Boden abtragen, zwischenlagern Décaper et entreposer	Boden abtragen und abführen Décaper et exporter
Materialabbau nicht etappiert (Zwischenbegrünung) Prélèvement de matériaux en continu (enherbement)		Nur auf zwischenbegrüntem Unterboden anlegen. Ne redéposer que sur des sous-sols préalablement enherbés.	Schütthöhe gemäss Tab. 2, nicht befahren, sofort begrünen. Hauteur de tas, selon tableau 2, ne pas rouler dessus.	
Materialabbau etappiert (Direktumschlag) Prélèvement de matériaux par tranche (remise en état directe)		Auf fertige Etappe (Unterboden angelegt) auftragen und begrünen. Redéposer sur la tranche restituée (sous-sol redéposé) et enherber.		
Grossbaustellen: Strasse, Bahn etc. Chantiers importants: routes, voies ferrées, etc.			Aushub- und Pistenbereich abhumusieren. Depotfläche nicht abhumusieren. Décaper les surfaces excavées et les pistes. Ne pas décaper les surfaces d'entreposage.	Von überbauten Flächen, soweit er überschüssig ist. Des surfaces imperméabilisées pour autant qu'il y ait des surplus.
Aushubdeponien, Auffüllungen Décharges de matériaux excavés, remblayages			Aushub- und Zufahrtsbereich abhumusieren, Depotfläche nicht abhumusieren. Décaper les décharges et les accès, ne pas décaper les surfaces d'entreposage.	
Erdverlegter Leitungsbau Conduites souterraines	Kein Abtrag, ausser im Grabenbereich. Décapage limité à la fouille.		Oberboden und Aushub direkt auf die Grasnarbe legen. Déposer directement la couche supérieure et le sous-sol sur le sol enherbé.	
Leitungsbau, Mastenbau Lignes aériennes et poteaux	Piste direkt auf das Gras legen, punktueller Bodenabtrag im Bereich der Fundamente. Piste posée directement sur le sol enherbé, décapage limité aux fondations.			

Tab. 4

Messung der Saugspannung mit Hilfe von Tensiometern [6]

Die Saugspannung S ist ein aus dem Energiegehalt des Bodens abgeleiteter sog. Kapillardruck (mit negativem Vorzeichen: «Sog»). Sie führt zwischen den festen Bodenteilen zu einer das Gefüge stabilisierenden Wirkung und hat damit einen direkten Einfluss auf die mechanische Belastbarkeit des Bodens.

Das zur Messung der Saugspannung verwendete Instrument heisst Tensiometer. Dabei wird durch eine poröse Keramikzelle («Kerze») im Boden der hydraulische Kontakt vom Bodenwasser über ein luftdicht abgeschlossenes, wasergefülltes Schaftrohr zu einem Manometerteil hergestellt. Gebräuchliche Masseinheiten sind:

$1 \text{ bar} = 100 \text{ Centibar (cb)} = 10^5 \text{ N} \times \text{m}^{-2} = 10^3 \text{ hPa} = 1,032 \text{ atm}$
 $= 1032 \text{ cm Wassersäule}$

Die gebräuchlichen Feld-Tensiometer bestehen aus einem Kunststoffrohr ($\varnothing$ meist 7/8") mit einer porösen Keramikzelle (Kontakt zum Bodenwasser) und einem am oberen Ende angebrachten Manometer. Für die Messung der Saugspannung als Mass zur Beurteilung der aktuellen Verdichtungsempfindlichkeit werden die Tensiometer in einer Tiefe von 35 cm (= Einbautiefe der Keramikzelle) installiert.

Natürlich gewachsener Boden ist grundsätzlich als inhomogenes Medium zu betrachten, wobei innerhalb gewisser Grenzen und unter Einräumung einer zulässigen Unschärfe gleichwohl von einem mehr oder weniger homogenen Medium innerhalb des gleichen Bodentyps [1] in einem definierten Landschaftsraum gesprochen werden kann. Gleichwohl gilt, dass eine einzige Messung an einem bestimmten Ort mit zu grosser Unsicherheit belegt ist. Es empfiehlt sich, am als repräsentativ ausgewählten Standort fünf Tensiometer in einem Messblock von rund 2 m^2 Fläche einzusetzen. Die einfache statistische Auswertung erfolgt vorteilhafterweise nicht über den Mittelwert (setzt Normalverteilung voraus, was hier nicht gesichert ist), sondern über den Medianwert, auch Zentralwert genannt. Für die praktische Anwendung und Weiterverwendung dieses Wertes innerhalb der baubegleitenden Bodenschutzmassnahmen wird diesem Medianwert ein gutachtlicher Wertebereich von $\pm 10\%$ zugeordnet.

Tab. 4

Mesure de la force de succion à l'aide de tensiomètres [6]

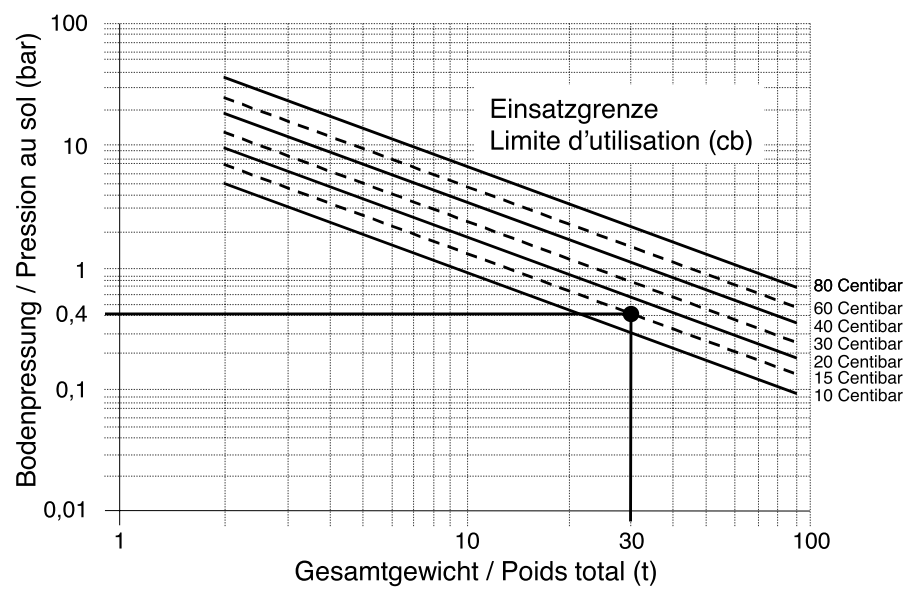
La force de succion S exprime le potentiel matriciel de l'eau présente dans le sol, résultant de l'énergie de la pression capillaire (valeur négative). Elle agit comme force de cohésion entre les particules qui forment un agrégat et a ainsi une action positive sur la résistance du sol à la pression.

Pour mesurer la force de succion, on utilise le tensiomètre. Par l'intermédiaire d'une bougie poreuse en céramique fixée à un tube rempli d'eau et étanche, relié à un manomètre, un gradient hydraulique est établi. L'unité courante de mesure est:

$1 \text{ bar} = 100 \text{ centibars (cb)} = 10^5 \text{ N} \times \text{m}^{-2} = 10^3 \text{ hPa} = 1,032 \text{ atm}$
 $= 1032 \text{ cm de hauteur d'eau}$

Les tensiomètres habituellement utilisés au champ ont en général un diamètre de 7/8". Pour la mesure de la force de succion en tant que valeur indicatrice de la sensibilité à la compaction, on installe la bougie à 35 cm de profondeur.

Les sols naturels sont très hétérogènes, même si pour des conditions définies et en tenant compte d'un intervalle de confiance on peut parler de milieu homogène et représentatif pour un type de sol [1] et une surface donnée. Une seule mesure ne peut ainsi pas être représentative d'un site. Il est donc recommandé d'établir à un endroit représentatif du site une placette de 2 m^2 comportant 5 tensiomètres. Une distribution statistique normale ne pouvant pas être postulée, plutôt que la valeur moyenne, on prendra la valeur médiane comme valeur de référence. Pour l'utilisation concrète de cette valeur, en rapport avec les activités du chantier et les mesures de protection des sols, on lui attribuera une plage de validité de plus ou moins 10%.



Einsatzgrenze [Cb] = Gesamtgewicht [t] x Bodenpressung [bar] x 1,25
 Limite d'utilisation [Cb] = Poids total [t] x Pression au sol [bar] x 1,25

Beispiel:	Gesamtgewicht / Poids total	30 t
Exemple:	Bodenpressung / Pression au sol	0,4 bar
	Einsatzgrenze / Limite d'utilisation	15 Centibar

Abb. 2
Einsatzgrenzen von Raupenfahrzeugen [6]

Fig. 2
Limites d'utilisation de machines de chantier à chenilles [6]

Tab. 5

Auswahl geeigneter Methoden im physikalischen Bodenschutz

Baustellenmethoden

Parameter	Kurzbeschreibung/Empfehlungswerte	Quellen						
Saugspannung	Im Feld werden auf einer Fläche von ca. 2 m² fünf Tensiometer bis in eine Tiefe von 35 cm installiert. Verbindlicher Messwert ist der Median aus fünf Einzelmessungen in Centibar (Tabelle 4). Für Raupenfahrzeuge gilt die Formel (Abbildung 2): Einsatzgrenze [Centibar] = Gesamtgewicht [t] × Bodenpressung [bar] × 1,25. Ein bodenverträglicher Einsatz von leichten Pneu-fahrzeugen ist erst ab Saugspannungen > 25 Centibar gewährleistet.	• BEW, «Richtlinien zum Schutze des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen (Bodenschutzrichtlinien)», Bern, 1997 • Amt für Umweltschutz und Energie BL, Bodenschutzfachstelle BE & Amt für Umweltschutz SO, «Bodenverträglichkeit von Landmaschinen», Liestal/Zollikofen/Solothurn, 1997						
Kontaktflächen-druck/ Bodenpressung	Der Kontaktflächendruck eines Raupenfahrzeuges berechnet sich aus dessen Gesamtgewicht geteilt durch die Kontaktfläche. In speziellen Fällen (bspw. bei unebener Auflagefläche) können die unter den Raupen auftretenden Kontaktflächendrücke um das 1,5fache über den berechneten liegen. Für Pneu-fahrzeuge gilt bei 2 bar Reifeninnendruck folgende Annäherung: $\text{Bodendruck [kPa]} = \frac{\text{Radlast [kg]} \times 100}{\text{Felgendurchmesser [cm]} \times \text{Reifenbreite [cm]}}$ Die Kontaktfläche von Diagonalreifen kann zudem mit folgender Formel angenähert werden: Kontaktfläche [cm²] = Reifendurchmesser [cm] × Reifenbreite [cm] × 0,27. Für alle Fahrzeuge gilt: Der Kontaktflächendruck (= Gesamtgewicht : Kontaktfläche) ist bodenverträglich, wenn er unter 50 kPa = 0,5 bar liegt.	• D. Matthies, «Vorlesung Physikalischer Bodenschutz: Maschineneinsatz und Bodenpfleglichkeit.», ITÖ/ETH, Zürich-Schlieren, 1997 • M. Berli et al., «Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit des Unterbodens beim Verlegen unterirdischer Rohrleitungen durch Kulturland», Zweiter Zwischenbericht ITÖ/ETH, Schlieren, 1998 • F.M. Inns & J. Kilgour, «Agricultural tyres», Dunlop, London, 1978						
Radlast	Die Bodenverträglichkeit von Pneu-fahrzeugen wird mit Hilfe der Radlast in folgende Kategorien aufgeteilt: <table><tr><td>> 3,5 t Radlast</td><td>bodenunverträglich</td></tr><tr><td>2,5–3,5 t Radlast</td><td>kritisch für den Boden</td></tr><tr><td>< 2,5 t Radlast</td><td>bodenverträglich, falls Saugspannung > 25 Centibar und Kontaktflächendruck < 0,5 bar</td></tr></table>	> 3,5 t Radlast	bodenunverträglich	2,5–3,5 t Radlast	kritisch für den Boden	< 2,5 t Radlast	bodenverträglich, falls Saugspannung > 25 Centibar und Kontaktflächendruck < 0,5 bar	• Amt für Umweltschutz und Energie BL, Bodenschutzfachstelle BE & Amt für Umweltschutz SO, «Bodenverträglichkeit von Landmaschinen», Liestal/Zollikofen/Solothurn, 1997
> 3,5 t Radlast	bodenunverträglich							
2,5–3,5 t Radlast	kritisch für den Boden							
< 2,5 t Radlast	bodenverträglich, falls Saugspannung > 25 Centibar und Kontaktflächendruck < 0,5 bar							

Feld- und Labormethoden für die Qualitätskontrolle

Parameter	Kurzbeschreibung/Empfehlungswerte	Quellen						
Eindringwiderstand	Mit einer PANDA-Sonde werden im Feld zehn Messungen in Abständen von 20cm bis in eine Tiefe von je 0,5m durchgeführt. Die Messungen erfolgen im abgetrockneten Boden bei Saugspannungen von mindestens 15 bis maximal 55Centibar. Die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Messungen wird mit Tensiometern bestimmt. Der Verdichtungsgrad bis in 0,5m Tiefe wird anhand der Median- oder Mittelwertskurve der ermittelten Eindringwiderstände in MPa beurteilt. <i>Eindringwiderstand: Verdichtungsgrad, Lagerung:</i> <table><tr><td>< 2 MPa</td><td>unverdichtet, normal gelagert</td></tr><tr><td>2,0–3,0 MPa</td><td>verdichtet, erhöhte Lagerungsdichte</td></tr><tr><td>> 3,5 MPa</td><td>stark verdichtet, kompakt gelagert</td></tr></table> Überschreitet die Kurve in einer bestimmten Tiefe oder über einen Tiefenbereich die Grenzen von 2,0 resp. 3,5 MPa, so ist der Boden dort verdichtet resp. stark verdichtet.	< 2 MPa	unverdichtet, normal gelagert	2,0–3,0 MPa	verdichtet, erhöhte Lagerungsdichte	> 3,5 MPa	stark verdichtet, kompakt gelagert	• R. Gourves, «Pénétromètre dynamique léger à énergie variable: PANDA», notice technique 04-2410b, Sol Solution, Romagnat/F, 1996 • Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, «Messbarkeit von Bodenverdichtungen im Feld», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1997 • Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Messung von Bodenverdichtungen im Feld (Teilprojekt Methodik)», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998 • Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, «Messung von Bodenverdichtungen im Feld (Teilprojekt Bestandesaufnahme)», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1999
< 2 MPa	unverdichtet, normal gelagert							
2,0–3,0 MPa	verdichtet, erhöhte Lagerungsdichte							
> 3,5 MPa	stark verdichtet, kompakt gelagert							
Infiltrationsrate	Für die Messung der Infiltrationsrate im Feld mit Hilfe der Einfachringinfiltrometer-Methode werden pro Standort fünf Metallrohre mit definiertem Innendurchmesser im Abstand von 25 bis 30 cm jeweils 20 cm tief in den wassergesättigten Boden getrieben. Auf das Metallrohr wird eine Kunststoffreduktion gestülpt, auf die ein Plexiglasrohr mit definiertem Volumen und einer Messkala gesetzt wird. Die gesamte Einheit wird abgedichtet und mit Wasser gefüllt. Nach einer Vorwässerungszeit von einer Stunde wird die Einheit vollständig mit Wasser gefüllt. Nach einer Infiltrationszeit von einer Stunde wird die exakte Messdauer gestoppt und der Wasserstand abgelesen. $\text{Infiltrationsrate [cm/s]} = \frac{A}{B} \times \ln \left[\frac{C}{D} \right]$ A = Grundfläche des Plexiglasrohres [cm²] × Einschlagtiefe des Metallrohres [cm] B = Grundfläche des Metallrohres [cm²] × Zeit [s] C = Wasserstand bei Messbeginn [cm] D = Wasserstand am Ende der Messung [cm] Eine Verdichtung liegt vor, wenn der Median aus fünf Messungen kleiner ist als 1×10^{-4} cm/s ~ 4 mm/h ~ 10 cm/d.	• E. Kramer, «Infiltrationsmessung», Methodenbeschreibung Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon, 1983 • Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, «Bodenbeobachtung im Kanton Bern», Rütli-Zollikofen, 1997						
Gesättigte Wasserleitfähigkeit und Grobporenvolumen	Im Feld werden pro Bodenhorizont je fünf ungestörte Zylinderproben entnommen. Die k_{sat}-Bestimmung erfolgt im Labor, sobald die Proben wassergesättigt sind. Danach werden diese Proben gewogen, dann bis 100 hPa (= pF 2,0) im Unterdruckverfahren entwässert und erneut gewogen. Die Gewichts Differenz entspricht dem entwässerten Grobporenvolumen (Porendurchmesser > 30 µm). Ein Bodenhorizont ist verdichtet, wenn der Median aus fünf k_{sat}-Messungen kleiner ist als 1×10^{-4} cm/s ~ 4 mm/h ~ 10 cm/d bzw. wenn der Median der fünf ermittelten Grobporenvolumen ≤ 8% beträgt.	• Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (k_{sat}) an «ungestörten» Bodenproben», Interner Bericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998 • Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Durchführung von Testserien mit der neu evaluierten k_{sat}-Methode», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1999 • FAL, IUL, RAC & FAW, «Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten», Zürich-Reckenholz, 1997 • Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, «Bodenbeobachtung im Kanton Bern», Rütli-Zollikofen, 1997						

Tab. 5

Choix de méthodes adéquates pour la protection physique des sols

Méthode application sur le terrain

Paramètres	Brève description/valeurs recommandées	Sources						
Force de succion	Installer dans une placette représentative de la section du chantier considérée d'environ 2 m² cinq tensiomètres à une profondeur de 35 cm. La valeur représentative sera la mesure médiane des cinq mesures exprimée en centibars (tableau 4). Pour les engins à chenilles, la formule suivante sera appliquée (figure 2): Limite d'engagement (centibar) = poids total (tonnes) × pression au sol (bar) × 1,25. Les engins légers à pneus ne peuvent être engagés qu'à partir d'une force de succion > 25 centibars, si l'on veut ménager les sols.	• OFE, «Directives pour la protection des sols lors de la construction de conduites souterraines de transport (Directives pour la protection des sols, DPS)», Berne, 1997 • Amt für Umweltschutz und Energie BL, Bodenschutzfachstelle BE & Amt für Umweltschutz SO, «Bodenverträglichkeit von Landmaschinen», Liestal/Zollikofen/Solothurn, 1997						
Surface de contact/pression au sol	La pression moyenne résultant de la surface de contact d'une chenille se calcule en divisant le poids total de l'engin par la surface porteuse des chenilles. Dans certaines situations, p.ex. surfaces irrégulières, cette surface peut augmenter jusqu'à 1,5 fois la pression calculée. Pour les engins à pneus, on utilisera la formule suivante pour une pression du pneu de 2 bar: $\text{Pression au sol [kPa]} = \frac{\text{charge sur la roue [kg]} \times 100}{\text{diamètre de la jante [cm]} \times \text{largeur du pneu [cm]}}$ La surface de contact des pneus radiaux peut être évaluée à l'aide de la formule suivante. Surface de contact (cm²) = diamètre extérieur du pneu (cm) × largeur du pneu (cm) × 0,27. Pour tous les engins, la règle suivante est applicable: la pression au sol ménage le sol lorsqu'elle est inférieure à 50 kPa = 0,5 bar.	• D. Matthies, «Vorlesung Physikalischer Bodenschutz: Maschineneinsatz und Bodenpfleglichkeit», ITÖ/ETH, Zürich-Schlieren, 1997 • M. Berli et al., «Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit des Unterbodens beim Verlegen unterirdischer Rohrleitungen durch Kulturland», Zweiter Zwischenbericht ITÖ/ETH, Schlieren, 1998 • F.M. Inns & J. Kilgour, «Agricultural tyres», Dunlop, London, 1978						
Charge sur la roue	La praticabilité des engins à pneus pour les sols est évaluée à l'aide de la charge du pneu selon trois catégories: <table><tr><td>> 3,5 t de charge du pneu</td><td>trop élevée pour le sol</td></tr><tr><td>2,5–3,5 t de charge du pneu</td><td>critique pour le sol</td></tr><tr><td>< 2,5 t de charge du pneu</td><td>adaptée au sol, si la force de succion est > 25 centibars et la pression au sol < 0,5 bar</td></tr></table>	> 3,5 t de charge du pneu	trop élevée pour le sol	2,5–3,5 t de charge du pneu	critique pour le sol	< 2,5 t de charge du pneu	adaptée au sol, si la force de succion est > 25 centibars et la pression au sol < 0,5 bar	• Amt für Umweltschutz und Energie BL, Bodenschutzfachstelle BE & Amt für Umweltschutz SO, «Bodenverträglichkeit von Landmaschinen», Liestal/Zollikofen/Solothurn, 1997
> 3,5 t de charge du pneu	trop élevée pour le sol							
2,5–3,5 t de charge du pneu	critique pour le sol							
< 2,5 t de charge du pneu	adaptée au sol, si la force de succion est > 25 centibars et la pression au sol < 0,5 bar							

Méthodes au champ et de laboratoire pour le contrôle qualitatif

Paramètres	Brève description/valeurs recommandées	Sources								
Résistance à la pénétration	Avec une sonde PANDA, dix mesures sont effectuées au champ jusqu'à 0,5 m de profondeur et un écart de 20 cm. Les mesures sont effectuées sur des sols bien ressuyés ayant entre 15 et 55 centibars de succion. L'état d'humidité au moment de la mesure sera établi à l'aide de tensiomètres. Le degré de compaction sur les premiers 50 cm est évalué sur la base de la courbe des médianes ou des valeurs moyennes de la résistance à la pénétration exprimée en MPa. <table><tr><td><i>Résistance à la pénétration:</i></td><td><i>Degré de compaction, densité:</i></td></tr><tr><td>< 2 MPa</td><td>non compacté, densité normale</td></tr><tr><td>2,0–3,0 MPa</td><td>compacté, densité élevée</td></tr><tr><td>> 3,5 MPa</td><td>fortement compacté, densité compacte</td></tr></table> Si la courbe dépasse, à partir d'une profondeur donnée ou pour une tranche de profondeur donnée, les valeurs de 2,0 ou 3,5 MPa, on considère que le sol est compacté ou fortement compacté.	<i>Résistance à la pénétration:</i>	<i>Degré de compaction, densité:</i>	< 2 MPa	non compacté, densité normale	2,0–3,0 MPa	compacté, densité élevée	> 3,5 MPa	fortement compacté, densité compacte	• R. Gourves, «Pénétromètre dynamique léger à énergie variable: PANDA», notice technique 04-2410b, Sol Solution, Romagnat/F, 1996 • Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, «Messbarkeit von Bodenverdichtungen im Feld», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1997 • Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Messung von Bodenverdichtungen im Feld (Teilprojekt Methodik)», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998 • Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, «Messung von Bodenverdichtungen im Feld (Teilprojekt Bestandsaufnahme)», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1999
<i>Résistance à la pénétration:</i>	<i>Degré de compaction, densité:</i>									
< 2 MPa	non compacté, densité normale									
2,0–3,0 MPa	compacté, densité élevée									
> 3,5 MPa	fortement compacté, densité compacte									
Taux d'infiltration	Pour mesurer au champ le taux d'infiltration à l'aide d'un infiltromètre à un anneau, on plantera cinq anneaux métalliques ayant un diamètre intérieur défini, à 25–30 cm les uns des autres, jusqu'à une profondeur de 20 cm dans un sol préalablement saturé. Ces anneaux seront munis à l'extrémité supérieure d'un flexible relié à un tube en plexiglas jaugé et gradué. Le système sera rendu étanche et rempli d'eau. Après une période d'humectation d'une heure, le système sera rempli d'eau. Après une période d'infiltration d'une heure, le volume d'eau infiltré sera lu. $\text{Taux d'infiltration [cm/s]} = \frac{A}{B} \times \ln \left[\frac{C}{D} \right]$ A = Section du tube en plexiglas (cm²) × hauteur de l'anneau plantée dans le sol [cm] B = Section de l'anneau (cm²) × durée de l'infiltration (s) C = Niveau de l'eau au début de l'infiltration [cm] D = Niveau de l'eau à la fin de l'infiltration [cm] Une compaction est établie si la valeur médiane des 5 infiltromètres est inférieure à 1×10^{-4} cm/s ~ 4 mm/h ~ 10 cm/d	• E. Kramer, «Infiltrationsmessung», Methodenbeschreibung Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon, 1983 • Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, «Bodenbeobachtung im Kanton Bern», Rütli-Zollikofen, 1997								
Conductivité hydraulique à saturation et volume des pores grossiers	Prélever au champ et dans chaque horizon cinq cylindres de Burger. Les échantillons sont pesés après saturation, puis ils sont pesés à nouveau après avoir été soumis à une force de succion de 100 hPa (= pF 2,0). La différence pondérale correspond au poids de l'eau qui était contenue dans les pores grossiers (> 30 µm). La détermination de la k_{sat} sera effectuée après une nouvelle saturation à l'eau des échantillons. Un horizon est considéré comme compacté lorsque la valeur médiane de la k_{sat} des échantillons est inférieure à 1×10^{-4} cm/s ~ 4 mm/h ~ 10 cm/d, ou lorsque la médiane du volume des pores grossiers est inférieure ou égale à 8%.	• Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (k_{sat}) an «ungestörten» Bodenproben», Interner Bericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998 • Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, «Durchführung von Testserien mit der neu evaluierten k_{sat}-Methode», Fachbericht Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1999 • SFRA, «Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques, volume 1 à 4», Zurich-Reckenholz, 1997 • Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, «Bodenbeobachtung im Kanton Bern», Rütli-Zollikofen, 1997								

Tab. 6

Ablauf der Wiederherstellung und Abnahme von temporär beanspruchten Böden

1. Vereinbarung mit Bewirtschafter/Eigentümer.
2. Erstellen der Rohplanie.
3. Entwässerung der Rohplanie:
 - Gestaltung der Gefälle.
 - Einbau von Sickerhilfen.
 - Einbau eines Entwässerungssystems.
4. Wiederherstellung mit angepassten Maschinen und unter trockenen Bedingungen (vgl. Ziffer 5.2).

Für neuangelegte, tiefgründige landwirtschaftliche Böden gilt in der Regel:

- Einbau des Unterbodens mit mindestens 80 cm Mächtigkeit.
- Zwischenbegrünung, falls der Unterboden über längere Zeiträume (> 1 Jahr) hinweg zwischengelagert wurde (Pflanzenwahl siehe [3] und [8]).
- Einbau des Oberbodens mit 30–35 cm Mächtigkeit (im Zeitraum Juni–August des Jahres nach der allfälligen Zwischenbegrünung des Unterbodens).

5. Zwischenabnahme zur Mängelbehebung (Werkabnahme) unter Anwesenheit von bodenkundlicher Baubegleitung, Vertretern der Unternehmung, Bauherrschaft und Landeigentümer/Bewirtschafter:
 - Abnahmeprotokoll (Abbildung 3).
 - Spatenprobe [2].
 - Verbindliche Festlegung von Art und Dauer der Folgebewirtschaftung/Folgenutzung mit Landeigentümer und Bewirtschafter.

6. Im Bedarfsfall Reparatur bestehender und störender Spuren des Eingriffs (z. B. mittels Tiefenlockerung, Drainage oder Entsteinung).

7. Für alle neuangelegten Böden muss eine extensive, schonende Folgebewirtschaftung/Folgenutzung erfolgen (Tabelle 7).

8. Schlussabnahme/Beurteilung (analog Ziffer 5):
 - Abnahmeprotokoll der Rekultivierung.
 - Beurteilung des Erreichten, ev. Vergleich mit dem Ausgangszustand [2]: Spatenprobe, ev. Messung von Eindringwiderstand, Grobporenvolumen, Infiltrationsrate und/oder gesättigter Wasserleitfähigkeit (Tabelle 5).
 - Ev. Beizug der kantonalen Bodenschutzfachstelle.

9. Ev. Schadensbehebung/Reparatur (analog Ziffer 6).

10. Rückgabe des Bodens zur normalen Nutzung.

Im konkreten Fall kann auf einzelne Schritte verzichtet werden!

Tab. 6

Procédure de reconstitution et de restitution des sols temporairement occupés

1. Convention avec l'exploitant/propriétaire.
2. Finition de l'aplanissement (remblai nivelé).
3. Drainage du remblai:
 - Réglage de la pente.
 - Mise en place d'aménagements facilitant l'infiltration et l'écoulement.
 - Mise en place d'un système de drainage.
4. Reconstitution des sols avec des machines adéquates et sous des conditions de ressuyage favorables (cf. chiffre 5.2).

Pour des sols reconstitués destinés aux grandes cultures, les règles suivantes seront observées:

- Mise en place d'un sous-sol sur une épaisseur d'au moins 80 cm.
- Semis d'un engrais vert, si le sous-sol a été entreposé durant plus d'une année (choix des plantes voir [3] et [8]).
- Mise en place de la couche supérieure d'une épaisseur de 30 à 35 cm (durant la période de juin à août qui suit l'année d'une éventuelle mise en place d'un engrais vert sur le sous-sol).

5. Protocole de restitution (réception de l'ouvrage), en présence du spécialiste chargé de la protection des sols sur le chantier, de représentants du maître d'œuvre, de la direction des travaux et de l'exploitant/propriétaire, en vue de définir les dégâts ou défauts à réparer:
 - Protocole de réception (figure 3).
 - Test à la bêche [2].
 - Convention sur le type et la durée de la remise en culture/exploitation avec le propriétaire et l'exploitant.

6. Si nécessaire, réparation des dégâts ou défauts constatés (p. ex. par des sous-solages, des drainages ou des éperrages).

7. Tous les sols reconstitués doivent faire l'objet d'une exploitation extensive et douce (tableau 7).

8. Restitution finale/évaluation (par analogie chiffre 5):
 - Protocole de la restitution après remise en culture.
 - Evaluation de l'état obtenu, év. comparaison avec l'état initial [2]: test à la bêche, év. test au pénétromètre, volume des pores grossiers, taux d'infiltration et/ou conductivité hydraulique à l'état saturé (tableau 5).
 - Ev. appel à l'appréciation du service cantonal de la protection des sols.

9. Ev. Réparation/élimination des dégâts ou défauts (idem chiffre 6).

10. Remise de la parcelle pour une exploitation normale.

Selon le cas considéré, certaines étapes peuvent être ignorées!

Werkabnahme von Rekultivierungen Protocole de restitution de la parcelle		Hilfsmittel: Visuelle Beurteilung/Fühlprobe/Bohrstock/Meter Aides à l'évaluation: évaluation visuelle, test tactile, tarière, mètre	Protokoll Nr. Protocole No:
Art der Wiederherstellung: Type de reconstitution:			
Vorgesehene Endnutzung: Utilisation finale prévue:			
Gemeinde: Commune:		Kanton: Canton:	
		Parzelle Nr.: Parcelle No:	
Bewirtschafter: Exploitant:		Eigentümer: Propriétaire:	
Adresse: Adresse:		Adresse: Adresse:	
PLZ/Ort: NPA/domicile:		PLZ/Ort: NPA/domicile:	
Telefon: Téléphone:		Telefon: Téléphone:	
Oberflächenbeurteilung / Evaluation de l'état de surface			
Rubrik Rubrique	Guter Zustand Points positifs		Mangelhafter Zustand Points négatifs
a	☐ Pflanzenbestand gleichmässig entwickelt Végétation régulière		☐ Pflanzenbestand ungleich und lückig Végétation irrégulière et lacunaire
b	☐ Oberfläche ausgeglichen, eben Surface du sol plane et régulière		☐ Deutliche Setzungen feststellbar Tassements manifestes
c	☐ Oberfläche regelmässig abgetrocknet Surface du sol uniformément ressuyée		☐ Oberfläche mit deutlichen Nassstellen Mouilles bien visibles en surface
d	☐ Keine störenden Steine an der Oberfläche Pas de pierres gênantes en surface		☐ Oberfläche ungenügend entsteint Pierrosité de surface excessive
e	☐ Keine Spuren der Folgebewirtschaftung Aucune trace des interventions durant la remise en culture		☐ Spuren der Bewirtschaftung deutlich Traces visibles d'interventions de remise en culture
Bodenaufbau, Wasserhaushalt, Drainagen / Structure du sol, régime hydrique, drainages			
Rubrik Rubrique	Guter Zustand Points positifs		Mangelhafter Zustand Points négatifs
f	☐ Gründigkeit = Ausgangszustand Profondeur = état initial		☐ Ungenügende Auftragsmächtigkeit Épaisseurs des horizons insuffisantes
g	☐ Unter-/Oberboden sichtbar getrennt Couche supérieure et sous-sol clairement séparés		☐ Unter-/Oberboden vermischt Mélange du sous-sol et de la couche supérieure
h	☐ Durchlässigkeit gut Bonne perméabilité		☐ Staunässe bzw. Wechselnässe sichtbar Mouilles et nappes perchées visibles
i	☐ Aufbau gleichmässig locker Structure régulière et aérée		☐ Verdichtung (Anaerobie) sichtbar Compactions (zones anaérobies) visibles
k	☐ Durchwurzelt/belebt Bien enraciné/organismes du sol présents		☐ Bodenbiologie sichtlich eingeschränkt Activité biologique du sol clairement freinée
l	☐ Wiederhergestellt und eingemessen Reconstitué et mesuré		☐ Keine Drainagen auf der Parzelle Pas de drains dans la parcelle
Massnahmen (Rubrik angeben): Mesures à prendre (indiquer la rubrique concernée):			
Ort und Datum: Lieu et date:			
Unterschriften: Signatures:		Grundeigentümer Propriétaire foncier	Vertretung der Bauherrschaft Représentant du maître d'œuvre
		Bauleitung Direction des travaux:	ARGE Communauté des entreprises

Abb. 3
Beispiel eines Abnahmeprotokolls für Rekultivierungen

Fig. 3
Exemple d'un protocole de restitution d'une parcelle

Tab. 7

Empfohlene Massnahmen während der mehrjährigen Folgebewirtschaftung

Nachstehende Massnahmen sind Empfehlungen für die mehrjährige Folgebewirtschaftung frisch angelegter landwirtschaftlicher Böden (nach erfolgter Zwischenabnahme) und ermöglichen eine erfolgreiche Restrukturierung des Bodens (Rekultivierung vor der Schlussabnahme und vor der Rückgabe zur normalen Nutzung):

- Nur im trockenen Zustand und mit leichten Maschinen befahren
- Keinerlei Bodenbearbeitung
- Anbau von Tiefwurzlern (Luzerne/Rotklee)
- Dürrfutternutzung
- Keine Stickstoffdüngung, keine Gülle und kein Herbizideinsatz
- Kein tiefer und kein früher Schnitt
- Keine Beweidung
- Genügende Entwicklungsdauer (mindestens 4 Jahre von Werkabnahme bis Rückgabe zur normalen Nutzung [10])

Tab. 7

Mesures préconisées pour une remise en culture pluriannuelle

Les mesures proposées ci-après concernent la remise en culture pluriannuelle de sols fraîchement reconstitués destinés à la culture (après la remise de l'ouvrage) et visent à assurer une bonne restructuration des sols (remise en culture avant la restitution des parcelles aux exploitants et le passage à une utilisation normale):

- ne rouler sur un sol qu'à l'état sec et avec des machines légères
- Eviter de travailler le sol
- Installer des plantes à enracinement profond (trèfle violet, luzerne)
- Produire du fourrage sec (foin, regain)
- Pas de fertilisation azotée, pas de lisiers et purins, pas de traitement herbicides en pleine surface
- Eviter les coupes précoces et trop basses
- Proscrire le pacage
- Prévoir une durée d'utilisation prolongée pour obtenir un effet restructurant maximal (4 ans entre la remise de l'ouvrage et la restitution [10])

7. Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 581 Erdbau, Boden; Grundlagen
- [2] SN 640 582 Erdbau, Boden; Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes
- [3] ASTRA, Forschungsbericht Nr. 425 «Umgang mit Boden im Tiefbau», Ch. Salm, VSS, Zürich, Januar 1999
- [4] ASTRA, Forschungsbericht Nr. 380 «Einfluss der Erstellung der Umfahrungsautobahn von Genf auf die Fruchtbarkeit zwischengelagerter Böden (RN 1a, Abschnitt 8)», VSS, Zürich, 1999
- [5] ASTRA, Forschungsbericht Nr. 363 «Künstliche Böden; Machbarkeit und Verwendung an Verkehrswegen», VSS, Zürich, 1996
- [6] BEW, «Richtlinien zum Schutz des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen (Bodenschutzrichtlinien)», Bern, 1997
- [7] BUWAL, Handbuch «Bodenschutz beim Bauen», Bern, 1996
- [8] Amt für Umweltschutz des Kantons Graubünden, «Praktischer Bodenschutz; Anleitungen für tiefbauliche Eingriffe», Chur, 1997
- [9] Fachkommission Rekultivierung des Kantons Bern, «Merkblatt – Folgebewirtschaftung rekultivierter Flächen», Bern-Zollikofen, 1997
- [10] Landwirtschaftliche Beratungszentrale (LBL), «Wegleitung für den ökologischen Ausgleich auf dem Landwirtschaftsbetrieb», Lindau, jährlich überarbeitet
- [11] Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Bodenschutzfachstelle, «Untersuchung verschiedener Baupistensysteme zum Schutz der Kulturböden vor Schädigung durch das Befahren mit schweren Baumaschinen», Luzern, 1999
- [12] BUWAL, Video «Bodenschutz auf der Baustelle», Bern, 1999

7. Bibliographie

- [1] SN 640 581 Terrassement, sol; Généralités et données de base
- [2] SN 640 582 Terrassement, sol; Inventaire de l'état initial, tri des matériaux terreux manipulés
- [3] OFROU, Rapport de recherche No 425 «Manipulation des sols dans le génie civil», Ch. Salm, VSS, Zurich, janvier 1999
- [4] OFROU, Rapport de recherche No 380 «Impact de la construction de l'autoroute de contournement de Genève sur la fertilité des sols agricoles utilisés comme emprises provisoires de chantier (RN 1a, section 8)», VSS, Zurich, 1999
- [5] OFROU, Rapport de recherche No 363 «Sols artificiels; faisabilité et utilisation le long des voies de communication», VSS, Zurich, 1996
- [6] OFE, «Directives pour la protection des sols lors de la construction de conduites souterraines de transport (Directives pour la protection des sols, DPS)», Berne, 1997
- [7] OFEFP, Manuel «Protection des sols et génie civil», l'environnement pratique, Berne, 1996
- [8] Amt für Umweltschutz des Kantons Graubünden, «Praktischer Bodenschutz; Anleitungen für tiefbauliche Eingriffe», Coire, 1997
- [9] Commission technique pour la reconstitution des sols du canton de Berne, «Fiche technique – pour la remise en culture de terrains reconvertis», Berne-Zollikofen, 1997
- [10] Service romand de vulgarisation agricole, «Fiche – Compensation écologique sur l'exploitation agricole», SRVA, Lausanne, mise à jour annuelle
- [11] Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Bodenschutzfachstelle, «Untersuchung verschiedener Baupistensysteme zum Schutz der Kulturböden vor Schädigung durch das Befahren mit schweren Baumaschinen», Lucerne, 1999
- [12] OFEFP, Vidéo «Construire en préservant les sols», Berne, 1999