

Vollzug Umwelt

HANDBUCH

**Waldboden-
kartierung**

Januar 1996



**Bundesamt für Umwelt, Wald und
Landschaft (BUWAL)**

HANDBUCH

**Waldboden-
kartierung**

Januar 1996

Diese Publikation ist Teil der Flankierenden Massnahmen (FLAM) des Walderhebungsprogramms (WEP) 1992-1995

Bearbeitung: Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau,
Zürich-Reckenholz

**Herausgegeben vom
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)**

DANK

Der Herausgeber dankt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftliche Pflanzenbau Zürich-Reckenholz (FAP) für die Entwicklung der Kartierungsmethodik und weitere Grundlagenarbeiten, Anregungen, redaktionelle Beiträge und die Abfassung des Handbuchs.

Die kritische Durchsicht des Manuskriptes besorgten in verdankenswerter Weise Peter Lüscher, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Franz Borer, Amt für Umweltschutz, Abt. Bodenschutz des Kantons Solothurn und Edouard Burlet, Eidg. Technische Hochschule, Fachbereich forstliches Ingenieurwesen.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Bearbeitung

Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau (FAP), Reckenholz,
8046 Zürich

Autoren

Andreas Ruef, Karl Peyer

Graphik

Elsbeth Plüss, FAP

Bezugsquelle

Dokumentationsdienst
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
3003 Bern

Preis: Fr. 20.--

3.96 700 U32868

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Einleitung	9
1.1 Ziel und Aufbau des Handbuchs	9
1.2 Gesetzliche Grundlagen	9
1.3 Inhalt und Anwendungsmöglichkeiten der Bodenkarte	10
1.4 Übersicht über den Kartierablauf	12
TEIL I BODENKARTIERUNG	13
2 Projektvorbereitung	15
2.1 Projektformulierung und -planung	15
2.2 Grundlagenbeschaffung	17
2.3 Übersichtsbegehung	18
2.4 Luftbilddauswertung	19
3 Feldarbeiten	21
3.1 Erhebung des Bodeninventars	21
3.1.1 Bodenprofile	21
3.1.2 Bohrungen	23
3.2 Arbeitslegende (Kartierschlüssel)	23
3.2.1 Codierung der Arbeitslegende	24
3.2.2 Bodenkartei	26
3.3 Kartierarbeit	26
3.3.1 Grundlegende Begriffe	26
3.3.2 Arbeitsunterlagen und Arbeitsgeräte	29
3.3.3 Die Feldkarte	29
3.3.4 Flächenkartierung	29
3.3.5 Variabilität von Boden- und Geländeform	32
4 Darstellung der Ergebnisse	36
4.1 Bereinigung von Arbeitslegende und Feldkarte	36
4.2 Bodenkartencode	38
4.3 Bodenkartenlegende	41
4.4 Kartenherstellung	43
4.4.1 Farbgebung	43
4.4.2 Konventionelle Kartenherstellung	43
4.4.3 EDV in der Bodenkartenherstellung	44
4.5 Auswertung von Bodenkarten	45
4.6 Erläuterungsbericht	47

TEIL II UNTERSUCHUNGEN AM BODENPROFIL UND STANDORT		49
5	Bodenprofil und Profilblatt	51
5.1	Das Bodenprofil	51
5.2	Profilblatt und Profilbeschreibung	52
5.3	Identifikation des Profilstandortes	54
5.3.1	Situation, Topographie/Geologie	54
5.3.2	Allgemeine Daten	54
6	Untersuchungen am Profil (Profilskizze)	56
6.1	Bodenhorizonte	56
6.1.1	Horizontnummer, Horizonttiefe und Horizontbegrenzung	56
6.1.2	Symbole der Haupthorizonte	57
6.2	Profilskizze und Signaturen	61
6.3	Gefüge	62
6.3.1	Gefügeformen	62
6.3.2	Gefügeansprache	63
6.4	Organische Substanz	63
6.5	Feinerde	64
6.5.1	Feinerdefraktionen	64
6.5.2	Feinerdekörnung	64
6.5.3	Bestimmung der Feinerdekörnung mit der Fühlprobe	66
6.6	Bodenskelett	66
6.7	Karbonatgehalt	68
6.8	pH-Wert	68
6.9	Farbe	69
6.10	Entnahme von Bodenproben	70
7	Angaben zum Standort und Bestand	71
7.1	Allgemeine Standortdaten	71
7.1.1	Höhe und Exposition	71
7.1.2	Klima	71
7.1.3	Nutzung, Vegetation	72
7.1.4	Ausgangsmaterial	73
7.1.5	Landschaftselement	73
7.2	Humusform	75
7.2.1	Klassierung der Humusformen	76
7.3	Bestandesdaten, Baumarten, Produktionsfähigkeit	78
8	Bodenbezeichnung (Klassifikation)	80
8.1	Bodentypen	80
8.2	Untertypen	82
8.3	Wasserhaushalt / Pflanzennutzbare Gründigkeit	83
8.3.1	Art und Grad der Vernässung	83
8.3.2	Bodenwasserhaushaltsgruppen	84
8.3.3	Pflanzennutzbare Gründigkeit und Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser	88

TEIL III ANWENDUNGEN UND INTERPRETATION	89
9 Anwendung und Interpretation der Bodenkarte in der Forstwirtschaft	91
9.1 Vorgehen bei der Interpretation von Bodenkarten	91
9.2 Anwendungsbereiche	93
9.3 Bodenkarte und Standort	94
9.3.1 Standort und Standortfaktoren	94
9.3.2 Methoden der Standortkartierung	94
9.3.3 Bodenkarte als Mittel der Standortkartierung	95
9.4 Die Produktionsfähigkeit	96
9.4.1 Produktionsfähigkeitsstufen	97
9.5 Bodenkarte und Waldbau	99
9.5.1 Bodeneigenschaften und Baumartenwahl	99
9.5.2 Verjüngungszeitpunkt und Verjüngungszeitraum	101
9.6 Die Bewertung von Waldböden	102
9.6.1 Bodenpunktzahl und Produktionsfähigkeitsstufe	102
9.6.2 Der Bewertungsablauf	103
9.6.3 Bestimmung des Bodenprofilwertes	104
9.6.4 Standortkorrekturen	106
9.6.5 Bodenpunktzahlkarte	106
9.7 Bodenkarten im Ingenieurwesen	106
9.7.1 Befahrbarkeit	107
9.7.2 Bodenverdichtung	108
10 Anwendungsbeispiele	110
10.1 Waldzusammenlegung Schlatt-Hofstetten (ZH)	110
10.2 Kiesabbau Solenberg (SH)	115
10.3 Melioration Jens-Merzligen (BE)	119
Literaturverzeichnis	123



Vorwort

Für verschiedene Belange der forstlichen Tätigkeit stehen heute Bodenkarten, hauptsächlich im Massstab 1:25'000, zur Verfügung. Mit dem Inkrafttreten des neuen Waldgesetzes, das in den forstlichen Planungsdokumenten auch Angaben zum Standort verlangt, kommt solchen Bodenkarten grosse Bedeutung zu. Damit verbindet sich das Bedürfnis nach Verbreitung der Kartierungsmethode sowie nach einer besseren Übersicht der verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten. Im Rahmen des Walderhebungsprogrammes 1992 - 1995, Teilprogramm "Flankierende Massnahmen", der Eidg. Forstdirektion kann diesen Wünschen nun Rechnung getragen werden.

Seit fast 20 Jahren befasst sich die Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau (FAP), Zürich-Reckenholz mit der Kartierung von Landwirtschafts- und Waldböden. Dabei wird eine einheitliche vom Bodenkartierungsdienst der FAP entwickelte Erhebungsmethode angewandt. Im vorliegenden Handbuch ist der neueste Stand der Methode dargelegt: von der Grundlagenbeschaffung über Untersuchungen am Profil und die eigentlichen Kartierarbeiten bis hin zur Kartendarstellung. In einem besonderen Teil wird auf Anwendung und Interpretation der Bodenkarten eingegangen.

Mit diesem Handbuch wird es in Zukunft möglich sein, Bodenkartierungen nach einheitlichen Kriterien und Richtlinien durchzuführen. Die Vollzugshilfe richtet sich einerseits an die kantonalen Forstämter, damit diese bei der Planung von möglichen Kartierungsprojekten eine geeignete Vorgabe haben, andererseits an die mit der Ausführung von Projekten betrauten Personen. Insbesondere sind alle Praktiker und sonstigen Anwender von Bodenkarten angesprochen, die den Boden in Planungsprojekte oder in konkrete Entscheide miteinbeziehen müssen.

BUNDESAMT FÜR UMWELT,
WALD UND LANDSCHAFT
Eidg. Forstdirektion



Heinz Wandeler
Eidg. Forstdirektor



1 Einleitung

1.1 Ziel und Aufbau des Handbuches

Mit der vorliegenden Publikation wird die an der FAP entwickelte **Methode** der Bodenkartierung, insbesondere der **Waldbodenkartierung** aufgezeigt. Damit soll ermöglicht werden, bei jedwelchen Erhebungen der Bodenverbreitung nach einheitlichen Kriterien und Richtlinien vorzugehen. Dadurch werden Resultate vergleichbar. Zudem soll die praktische Anwendung der Bodenkarte sowie deren besseres Verständnis gefördert werden.

Das "Handbuch der Waldbodenkartierung" ist als Anleitung im Sinne einer Anregung resp. Empfehlung zu verstehen, wie es z.B. auch in ähnlichen Publikationen in Deutschland (ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE, 1982) oder Österreich (ARBEITSGRUPPE BODENZUSTANDSINVENTUR, 1989) formuliert wurde.

Um Kartierungen durchführen zu können, sind aber neben einer ausführlichen Anleitung auch bodenkundliche Kenntnisse Voraussetzung. In der Anfangsphase wird auch die Betreuung durch einen erfahrenen Kartierer notwendig sein.

Nicht näher erläutert wird hier die Bodenklassifikation. Diese wurde in einer separaten Publikation bereits veröffentlicht (FAP, 1992a) und ist z.T. Voraussetzung, z.T. Ergänzung zur vorliegenden Schrift.

Das Handbuch gliedert sich in drei Teile. In einem ersten Teil wird die eigentliche Kartierungsmethode dargelegt von den Projektvorbereitungen bis zur Kartendarstellung. Ein zweiter Teil befasst sich mit der Bodenprofilaufnahme. Diese beiden Teile haben mehrheitlich allgemeinen Charakter, d.h. sie sind sowohl für Wald- als auch für Feldkartierungen gültig. Auf spezifische Unterschiede wird jeweils hingewiesen. Der dritte Teil beschreibt die Anwendungsmöglichkeiten von Bodenkarten in der Forstwirtschaft inklusive Bodenbewertung sowie einigen Anwendungsbeispielen.

1.2 Gesetzliche Grundlagen

Seit dem 1. Januar 1993 ist die neue Waldgesetzgebung des Bundes in Kraft. Dies bewirkt für die Forstwirtschaft in vielerlei Hinsicht eine Neuorientierung, so auch im Bereich Standort. Neu wird im Waldgesetz die quantitative Walderhaltung durch ein Gebot der **qualitativen Walderhaltung** ergänzt, d.h. der Wald soll als naturnahe Lebensgemeinschaft geschützt und seine Funktionen im Sinne von Dienstleistungen am Menschen anerkannt werden (Art. 1 Abs. 2 Bst. b,c WaG). Als Mittel für die Erfüllung der Waldfunktionen dient die Waldbewirtschaftung, zu der u.a. neben Pflege und Nutzung auch die **forstliche Planung** gezählt wird (BUWAL, 1993). Das neue Waldgesetz regelt

hierzu die Rahmenbedingungen (Art. 20 Abs. 2, resp. Art. 38 Abs. 2 Bst. a); die eigentlichen Planungs- und Bewirtschaftungsvorschriften sind durch die Kantone zu konkretisieren. Von besonderer Bedeutung (im Sinne von Mindestanforderung) ist Absatz 2 von Artikel 18 WaV. Hier wird verlangt, dass in den forstlichen Planungsdokumenten neben den Waldfunktionen auch die **Standortverhältnisse** festzuhalten sind.

Zu den nun vom Gesetz verlangten Standortbeschreibungen, resp. Standortkartierungen gehören sicher auch Angaben zu den Bodenverhältnissen. Dabei können Bodenkarten eine wertvolle Hilfe sein.

1.3 Inhalt und Anwendungsmöglichkeiten der Bodenkarte

Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Filter, Puffer, Regenerator und Pflanzenstandort nimmt der Boden im Naturraum eine zentrale Stellung ein. Diesbezüglich stellt die Bodenkarte eine Grundlagenkarte von hohem Informationswert dar.

Bodenkarten geben Auskunft über die **Bodenverhältnisse** einer bestimmten Region oder Landschaft. Neben wichtigen **Bodeneigenschaften** enthalten sie auch Angaben über das **Ausgangsmaterial** (Muttermaterial, Substrat), die **Bodenentwicklungsprozesse** oder die Bodenklassifikation.

Die **Anwendungsmöglichkeiten** von Bodenkarten liegen somit in vielen verschiedenen Fachbereichen:

- **Land- und Forstwirtschaft:** Interpretation hinsichtlich standortgemässer Nutzung, Baumartenwahl, Bodenbearbeitung, Bodenverbesserung, Ertragspotential etc.
- **Orts- und Regionalplanung:** Grundlage für die Ausscheidung wertvoller und vielseitig nutzbarer Ackerböden (Fruchtfolgeflächen); Nutzungsplanung etc.
- **Umweltschutz:** Grundlage beim Bodenschutz, beim Gewässerschutz sowie bei der Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen etc.
- **Erforschung von Naturräumen:** Hilfsmittel in der Bodenkunde selber (Forschung und Lehre) sowie in den Bereichen Botanik (Pflanzensoziologie), Zoologie (Bodenbiologie), Geographie (Geomorphologie, Landschaftsökologie), Geologie, Geotechnik (Baugrundbeschaffenheit, Baustoffbeschaffung), Hydrologie etc.

Je nach **Massstab** ermöglichen die Bodenkarten eine Gebietsübersicht oder geben parzellengenaue Informationen.

Kleinmassstäbliche Karten, wie die Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (EJPD, 1980), geben eine Übersicht der Bodenverhältnisse auf nationaler Ebene. Sie dienen über-

regionalen Fragestellungen. Dargestellt werden keine Einzelböden, sondern ausschliesslich Bodengesellschaften, welche die wesentlichen Eigenschaften der jeweiligen Landschaftstypen bezüglich Ausgangsgestein und Relief widerspiegeln.

Bodenkarten im **mittleren** (halbdetaillierten) **Massstab** 1:25'000 geben Hinweise auf die Bodenbeschaffenheit sowie die land- und forstwirtschaftliche Eignung auf regionaler Ebene. Für eine grundstückbezogene Bodenbeurteilung sind sie oftmals zu ungenau. Für raumplanerische und ökologische Fragestellungen, die eine ganze Region betreffen (Abb.1), sind die Bodenkarten 1:25'000 aber eine wertvolle und notwendige Grundlage (MÜLLER, ZIHLMANN, 1987).

Grossmassstäbliche Karten (Detailkartierungen) 1:1'000 bis 1:10'000 sind für die Beurteilung von Einzelparzellen z.B. bei Güterzusammenlegungen, die Planung von Bodenverbesserungsmassnahmen, für land- und forstwirtschaftliche Betriebsplanungen sowie Düngungsfragen erforderlich. Auch für Umweltverträglichkeitsprüfungen werden in Zukunft vermehrt solche Bodenkarten herangezogen.

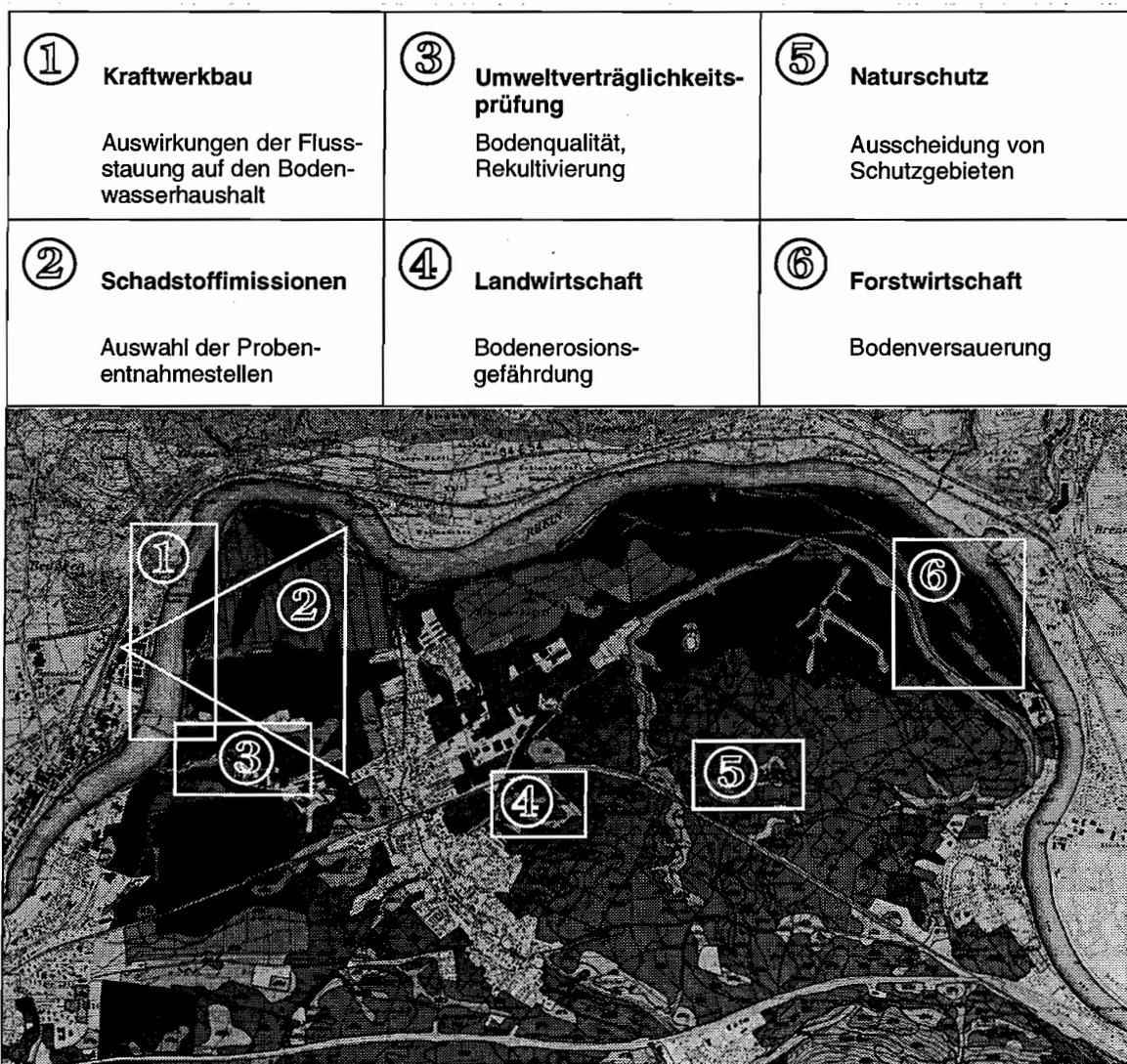


Abb. 1: Anwendungsbeispiele, dargestellt an der Bodenkarte 1:25'000 Blatt Rheinfeld

Der Massstab bestimmt somit im wesentlichen die Variationsbreite der auf der Karte ausgedehnten Bodeneinheiten und ihre Aussagekraft. Je engeräumiger die Bodenverhältnisse ändern und je grösser die Unterschiede sind, desto wichtiger ist es für viele nachfolgende Auswertungsarbeiten, auch kleinflächig auftretende Böden auszukartieren. Die spezifischen Anwendungsmöglichkeiten einer Bodenkarte sind also immer vom gewählten Massstab abhängig.

1.4 Übersicht über den Kartierablauf

Die schematische Übersicht über den Ablauf einer Bodenkartierung (Abb.2) gilt für Detailkartierungen und für Kartierungen im Massstab 1:25'000. Es gibt allerdings bezüglich Wichtigkeit und Ausführung der einzelnen Schritte Unterschiede, worauf in den betreffenden Abschnitten hingewiesen wird. Die im Übersichtsschema aufgeführten Schritte werden im nachfolgenden Teil I beschrieben.

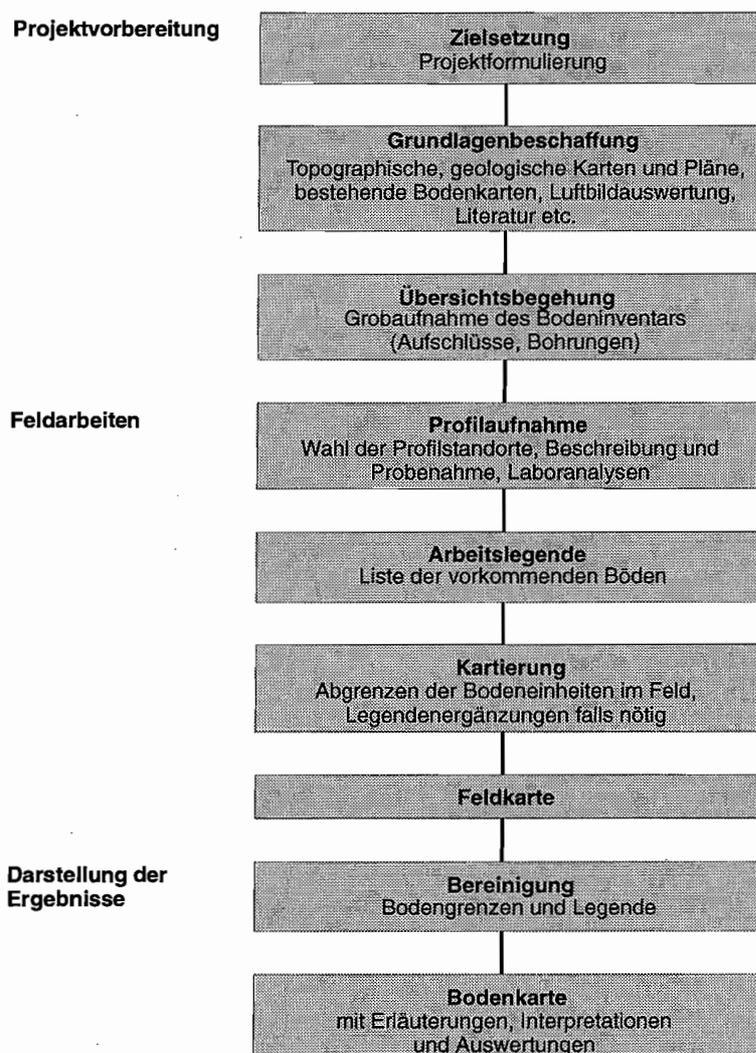
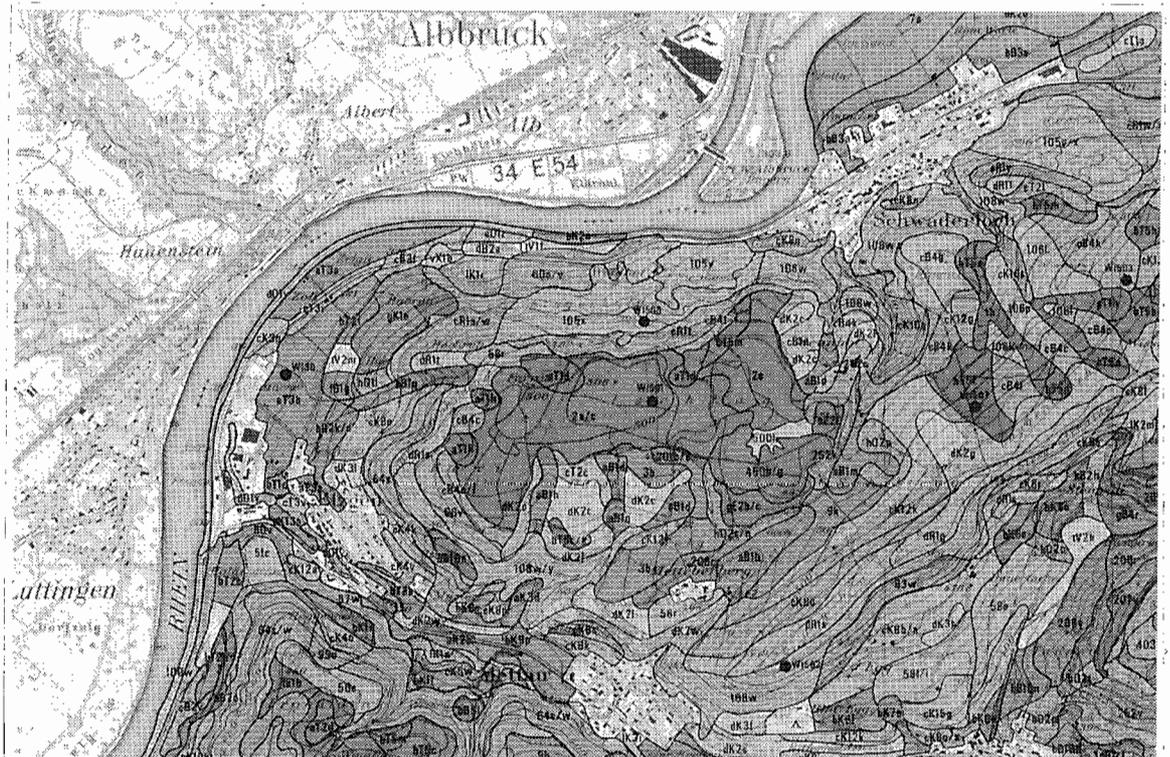


Abb. 2: Übersicht über den Ablauf einer Bodenkartierung

TEIL I BODENKARTIERUNG





2 Projektvorbereitung

2.1 Projektformulierung und -planung

Vor der Durchführung eines Kartierungsprojektes sind alle wichtigen Punkte zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu besprechen und allenfalls in einem Vertrag festzuhalten (Auftragsspezifikation). Insbesondere sind die Bedürfnisse des Auftraggebers in Bezug auf die Auswertungsziele und die Darstellungsform der Ergebnisse abzuklären. Daneben gilt es, das Projekt in zeitlicher und finanzieller Hinsicht sowie in Bezug auf Material und Personal zu planen.

Auftragsspezifikation

- Kartierungsperimeter: Fläche in ha
- Arbeitsunterlagen: Pläne
Luftbilder
Werkleitungspläne
- Finanzielles: Kostenvoranschlag für Auftraggeber
- Termine: Vorbereitungsarbeiten
Feldarbeiten
Feldkarten z.B. als Unterlagen für Bonitierungen
Schlussbericht inkl. Boden- und Auswertungs-
karte(n)
- Darstellungsform der Ergebnisse: Anzahl Exemplare; farbig od. schwarz-weiss
statistische Auswertungen von Karten
- Informationsbedarf: Öffentlichkeit
Landeigentümer
Interessierte

Mögliche Auswertungsziele

- Güterzusammenlegung (Bodenqualität, Punktzahl)
- Meliorationsvorschläge
- Risiko für Sicker- und Abschwemmverluste von Pflanzennährstoffen
- Erosionsrisiko
- Verdichtungsrisiko
- Nutzungseignung (Land- und Forstwirtschaft)
- Ausscheidung von landwirtschaftlichem Vorranggebiet (z.B. Fruchtfolgeflächen)

- Beweissicherung beim Kiesabbau
- Waldbauliche Planung, Forsteinrichtung
- Ausscheidung von Naturreservaten, ökologischen Ausgleichsflächen
- Umweltschutzmassnahmen

Planungspunkte des Auftragnehmers

- ungefähre Anzahl Profile resp. Bohrungen
- Anzahl Bodenproben für das Labor
- Einsatzplan für Kartierer
- Einsatz der Infrastruktur (Labor, Zeichnungsbüro)
- Materialbedarf (Pflöcke, Bohrgeräte etc.)
- Auftragspezifische Anforderungen (Feldexperimente, spezielle Laboruntersuchungen etc.)
- Planung der eigenen projektbezogenen Arbeit

Auftraggeber

Aufträge für Bodenkartierungen stammen zum grössten Teil von der öffentlichen Hand. Oft sind es öffentlich-rechtliche Körperschaften, die im Rahmen von Meliorationsmassnahmen (Güterzusammenlegungen) detaillierte Bodenkarten wünschen oder politische Gemeinden, die die gesetzlichen Bestimmungen eines kantonalen Raumplanungsgesetzes zu vollziehen haben. Regionale Kartierungen im Massstab 1:25'000 werden eher von kantonalen Stellen in Auftrag gegeben. Aber auch private Büros können Kartierungen (z.B. bei Umweltverträglichkeitsprüfungen), wenn sie diese nicht selbst durchführen, weiter vergeben.

Auftraggeber, die mit Boden und Bodenkartierung weniger vertraut sind, sollen mindestens einmal bei der Kartierarbeit im Feld dabei sein und sobald als möglich einen Kartentwurf samt Interpretation zur Stellungnahme erhalten.

2.2 Grundlagenbeschaffung

Alle Karten, Pläne, Berichte oder Bücher, die Angaben über die Bodenbildungsfaktoren und die Bodenmerkmale im Kartierungsgebiet und seiner Umgebung enthalten, können von Nutzen sein (Tab. 1).

Unterlage	Bodenbildungsfaktor	Auswertung für Bodenkartierung
Atlas der Schweiz	diverse	Übersicht
Geologische Karten Geotechnische Karten Hydrogeologische Karten	Muttermaterial	Zuordnung der Bodeneinheiten zu Substraten (Legende) Profilstandorte
Temperaturreihen Niederschlagsmengen Klimaeignungskarte 1:200'000 Wärmestufenkarte 1:200'000	Klima	klimatische Charakterisierung
Landeskarten der Schweiz 1:25'000 Luftbilder Hangneigungskarten Geomorphologische Karten	Relief	Übersicht Abgrenzung von physiografischen Landschaftselementen Profilstandorte
alte Landeskarten 1:25'000 "Siegfriedatlas" 1:50'000 Werkleitungspläne	Mensch	Veränderungen durch menschliche Eingriffe
Arealstatistik	Mensch	Bodennutzung
Vegetationskarten	Vegetation	provisorische Grenzen
Grundwasserkarten	Wasser	Abgrenzung von grundwasserbeeinflussten Gebieten
Bodenkarten benachbarter Gebiete, dazugehörige Profilblätter	alle	provisorische Grenzen Übernahme von Bodeneinheiten in die Legende

Tab. 1: Zusammenstellung wichtiger Grundlagen

Das Ergebnis der Grundlagenauswertungen kann in Form einer oder mehrerer Kartenskizzen (z.B. Aufleger) dargestellt werden. Sie dienen der Gebietsübersicht sowie dem Verständnis der Landschaftsentstehung(-genese), oder können zusammen mit den Erkenntnissen der Übersichtsbegehung (vgl. 2.3) zu einer **Konzeptkarte** verarbeitet werden. Eine Konzeptkarte enthält bereits Angaben zur Bodenentstehung(-genese) und zu wichtigen Bodeneigenschaften; auf sie kann sich die Feldarbeit wesentlich abstützen. Die Auswertung der Unterlagen fliesst ebenfalls beim Erheben des Bodeninventars ein.

2.3 Übersichtsbegehung

Teilweise gleichzeitig, teilweise nach dem Auswerten der Unterlagen wird im Gelände ein Überblick über die Bedeutung und die Variationsbreite der **Bodenbildungsfaktoren** gewonnen. Dazu dienen:

- Aufschlüsse: Steinbrüche, Kiesgruben, Böschungen, Baugruben, Gräben, umgeworfene Wurzelstöcke
- pflanzensoziologische Beobachtungen, Landnutzung
- auffällige Oberflächeneigenschaften: Nassstellen, Erosionszonen, Rutschungen, hoher Humusgehalt, Torfsackungen (Drainage-Schächte), hoher Steingehalt, etc.

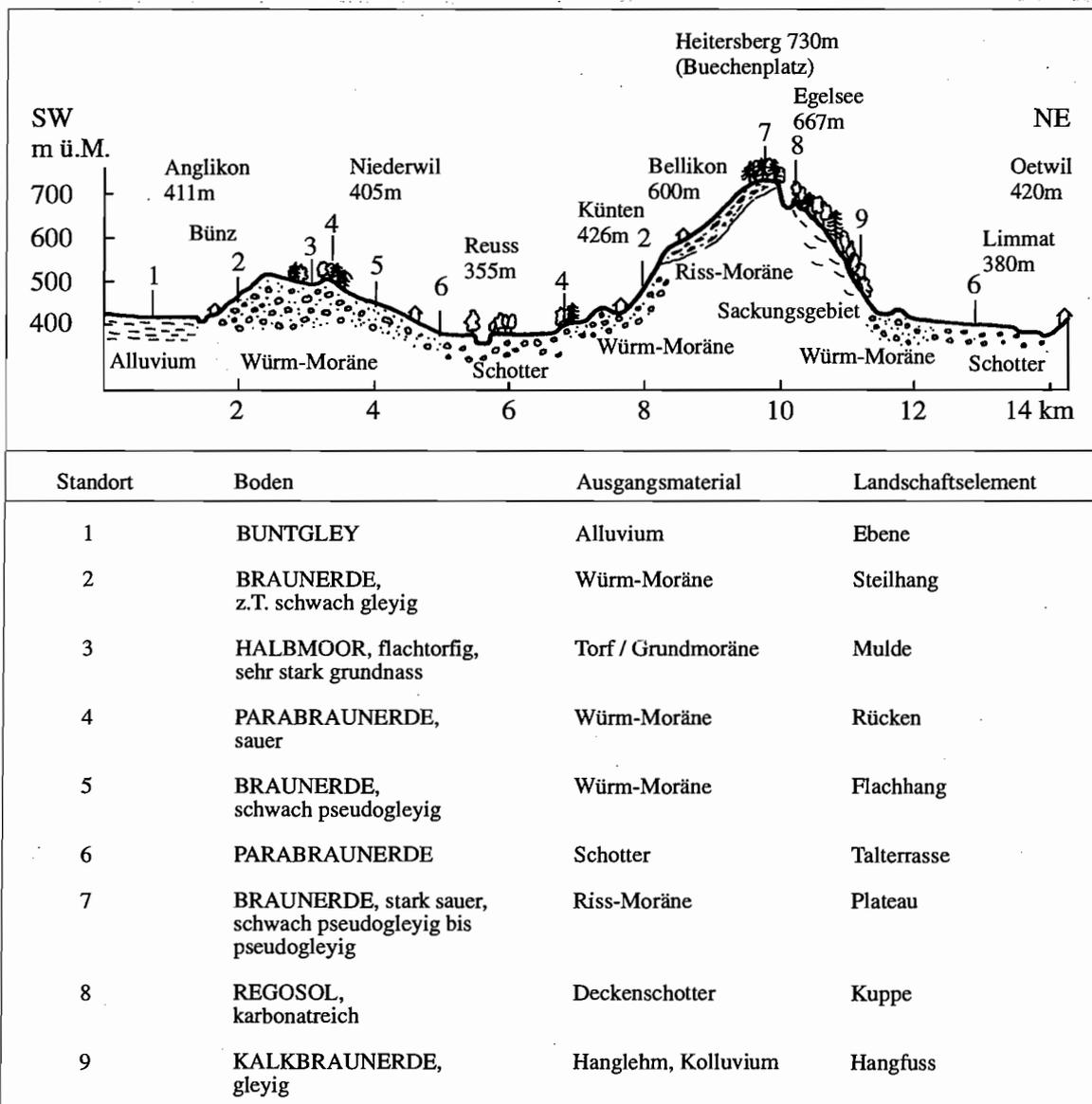


Abb. 3: Beispiel der Bodenabfolge entlang einer Transsekte vom Bünztal zum Limmattal (aus FAP, 1986)

Um den Zusammenhang zwischen Bodeneigenschaften und Bodenbildungsfaktoren genauer untersuchen zu können, empfehlen sich gezielte Bohrungen z.B. entlang einer Transekte. Damit meint man eine Kette von Bohrungen, so dass in jedes physiographische Landschaftselement mindestens eine Aufnahme fällt (Abb. 3).

Sämtliche Aufnahmen und Beobachtungen sind auf der Feldkarte (vgl. 3.3.3) einzutragen.

Bei grossflächigen Kartierungen kann eine **Testkartierung** eines Ausschnittes den Überblick verschaffen. Das Testgebiet soll geologisch und morphologisch für den ganzen Kartierungsperimeter repräsentativ sein.

Am Ende dieser "Übersichtsphase" soll der gebietsspezifische Zusammenhang zwischen den Bodenbildungsfaktoren und der Ausprägung der Merkmale des Bodenprofils in den typischen Landschaftselementen des Kartierungsgebietes bekannt sein (Abb. 3). Darauf stützt sich dann die Aufnahme des Bodeninventars mittels Profilgruben und Bohrungen ab.

2.4 Luftbildauswertung

In der Bodenkartierung helfen Luftbilder dem geübten Betrachter, Flächen mit gewissen Bodenbildungsfaktoren resp. Bodeneigenschaften gegeneinander abzugrenzen. Zuverlässige qualitative Aussagen, wie etwa über Korngrössenzusammensetzung, Wasserhaushalt und Chemismus oder das Festlegen des Bodentyps, sind aber allein aufgrund von Luftbildern nicht möglich. Hierzu sind Geländeproben (Bohrungen) an Ort und Stelle unerlässlich (SCHNEIDER, 1974). Auch ist das Luftbild eine Momentaufnahme, im Gegensatz zum Bodenprofil, das in seiner Morphologie, z.B. in den Vernässungsanzeichen, das Langzeit-Verhalten erkennen lässt.

Bei der Interpretation der Luftbilder stehen die **Analyse der Grau- resp. Farbtöne** (Kontraste) sowie bei stereoskopisch auswertbaren die **Reliefanalyse** im Vordergrund.

Im Waldgebiet ist der Einsatz der Luftbilder nur bedingt möglich, er beschränkt sich vorwiegend auf Reliefanalysen sowie auf die Orientierung im Gelände.

Farb- resp. Grautonanalyse

Farb- resp. Grautonunterschiede erleichtern v.a. das Auffinden und Abgrenzen von Nassböden und flachgründigen Böden (Tab. 2). Wenn in einem geeigneten Testgebiet der Zusammenhang zwischen Grau-/Farbtönen und Bodenform geklärt ist, kann ein **eigentlicher Luftbildinterpretationsschlüssel** für die Bodenansprache geschaffen werden. Das richtige Zuordnen einer Teilfläche zu einer Bodeneinheit der Arbeitslegende (vgl. 3.2)

setzt jedoch eine gründliche Felderfahrung voraus. Die Richtigkeit muss vom Kartierer zumindest stichprobenweise im Felde überprüft werden.

Grautöne im Vergleich zur Umgebung		korrelierte (Boden)eigenschaften
flächenhaft:	- hell - mittel - dunkel	raue Oberfläche (Steine, Sand) trockene Standorte, flachgründige Böden tiefgründige Böden mit ausgeglichenem Wasserhaushalt Nassflächen
punkt-, linienförmig:	- hell - dunkel	Steinlinsen, Erosionskanten, flachgründige Stellen Drainageleitungen, Quellaufstösse, vernässte Stellen

Tab. 2: Luftbildinterpretationsschlüssel bezüglich Grauton-Kontraste

Reliefanalyse

Der Bodenbildungsfaktor Relief variiert normalerweise sehr stark und prägt die Abgrenzungen auf der Bodenkarte sowie die nachfolgenden Auswertungen. Unter dem Stereoskop wird das Relief - allerdings in überhöhter Form - sichtbar und Teilflächen können abgegrenzt und physiographischen Landschaftselementen (vgl. 7.1.5) zugeordnet werden.

Die Grenzen solcher Landschaftselemente stimmen kleinmassstäblich (1:25'000 und kleiner) mit den Bodengrenzen gut überein. Darüber hinaus stellt man innerhalb eines Landschaftstyps meist enge Beziehungen zwischen der Art der Landschaftselemente und des Bodens fest.

Für Detailkartierungen (grösser als 1:10'000) genügt die Reliefanalyse nicht, um alle relevanten Bodengrenzen festlegen zu können. Kleine Reliefunterschiede können im Stereoskop nicht immer ausgemacht werden - im Gelände sind sie jedoch oft mit wichtigen Bodenunterschieden verbunden.

Die Reliefanalyse mittels Luftbild hat für Waldbodenkartierungen geringere Bedeutung als im offenen Land. Unter Wald ist das Kleinrelief meist nur schlecht oder gar nicht zu erkennen, weil es durch die Bestockung ausgeglichen wird (auf Kuppen kurze, in Mulden lange Bäume).

3 Feldarbeiten

Die Feldarbeiten beinhalten die Auswahl und Beschreibung von Bodenprofilen resp. Bohrungen (Bodeninventar) sowie die eigentliche Kartierarbeit im Gelände.

3.1 Erhebung des Bodeninventars

Unter Bodeninventar ist die möglichst lückenlose **Liste aller im Kartierungsperimeter vorkommenden Bodenformen** mit bedeutendem Flächenanteil zu verstehen. Das Bodeninventar setzt sich aus Beschreibungen neu aufgenommener Profile und Bohrungen sowie aus Beschreibungen von Profilen, Bohrungen und Bodeneinheiten bestehender Kartierungen im Perimeter und in angrenzenden Gebieten mit ähnlichen Bodenverhältnissen zusammen.

Bei grösseren Kartierungsprojekten ist es sinnvoll, vorerst ein provisorisches Inventar mittels Kartierung repräsentativer Testgebiete zu erheben. Für die Bodenkartierung im Massstab 1:25'000 können dafür vorhandene Detailkartierungen im entsprechenden Kartenblatt herangezogen werden.

3.1.1 Bodenprofile

Für die definitive Auswahl der Profile sind folgende Kriterien wichtig:

- Standort:**
- die Vielfalt der Bodenbildungsfaktoren **Relief, Muttermaterial, Vegetation** (Feld und Wald) und **Klima** möglichst repräsentativ erfassen
 - möglichst im Zentrum des zu charakterisierenden Landschaftselementes
 - im Wald möglichst in naturnahen Beständen
 - Stellen meiden, die durch menschlichen Eingriff tiefgehende Veränderungen erfahren haben, ausgenommen da, wo sie so grossflächig vorkommen, dass sie für die Kartierung relevant werden (z.B. rekultivierte Kiesgruben)
 - genügend Abstand von Strassen, Wegen, Bahndämmen, Gräben, Bachläufen etc. einhalten (i.A. mind. 5m)
 - im Feld am Rande von Parzellen anlegen, um den Landschaden möglichst gering zu halten (aber nicht im Anhaupt)
 - beim Einsatz von Grabmaschinen auch den Erschliessungsverhältnissen Rechnung tragen
 - **ACHTUNG:** Werkleitungspläne beachten (Verlauf von elektrischen Leitungen, Telefonleitungen, Wasserleitungen etc.)

- Grösse:**
- Breite: 60 - 100 cm
 - Länge: 200 cm
 - Tiefe: bis zum C-Horizont, max. 200 cm
 - angepasst an besondere Verhältnisse und Anforderungen
- Lage:**
- Die Profilwand ist nach Süden auszurichten bzw. bergseits anzulegen
- Verteilung:**
- möglichst regelmässige Verteilung über das Kartierungsgebiet (aber nicht systematisch)
 - Detailkartierungen : - ca. 1 Profil pro 10 - 15 ha
- gemäss Auftrag
 - Bodenkarte 1:25'000 : - ca. 1 Profil pro 100 - 150 ha resp.
100 - 150 pro Kartenblatt
- Zeitpunkt:**
- Feld: im Ackerbaugebiet zwischen Ernte und Neuansaat, im Futterbaugebiet im frühen Frühling oder Spätherbst
 - Wald: beliebig, oft zusammen mit Vegetationsaufnahmen (Frühjahr, Sommer)
- Aufnahme:**
- siehe Teil II UNTERSUCHUNGEN AM BODENPROFIL UND STANDORT

Als Ersatz für Profilgruben dienen auch natürliche und künstliche Aufschlüsse aller Art:

- Steinbrüche
- Kies-, Sand-, Tongruben
- Bahn- und Strassenböschungen
- Baugruben
- Wasserleitungs-, Drain- oder Kanalisationsgräben, Strassenbaustellen
- umgeworfene Wurzelstöcke, etc.

Wichtig: nur frische Aufschlüsse beurteilen, allenfalls vorgängig präparieren (abstechen, anfeuchten); allfällige Störungen beachten.

Bodenaufschlüsse, welche eine bedeutende Bodeneinheit des Kartierungsgebietes gut repräsentieren, werden als **Standardprofile** bezeichnet. Sie werden auf der Bodenkarte eingezeichnet und im Bericht, inkl. Laboranalysen, beschrieben.

3.1.2 Bohrungen

Bohrungen (v.a. mit Bohrfahrzeugen) können als Ersatz für Profilgruben eingesetzt werden, zur Ergänzung und Abrundung des Bodeninventars.

- Standort:**
- es gelten die gleichen Kriterien wie für die Profilgruben.
Wald: In Beständen ab Baumholzstufe; Bohrungen auch auf Rückegassen; aber nicht in der Fahrspur!
- Tiefe:**
- so tief wie möglich
- Bohrgeräte:**
- hydraulischer Bohrer (Bohrfahrzeug), Ø des Bohrkerns ca. 8 cm
 - Handbohrer (auch Edelmann- oder Holländerbohrer genannt), Ø des Bohrkerns 3 - 10 cm
 - ausnahmsweise auch Schlagbohrstock ("Pürckhauer")
- Verteilung:**
- nach Bedarf, als Ergänzung bzw. Ersatz für Profile
- Aufnahme:**
- analog Profilaufnahmen; für Handbohrungen können vereinfachte Aufnahmeformulare verwendet werden
- Zeitpunkt:**
- Bohrungen mit Bohrfahrzeugen im Ackerbaugebiet nach der Ernte, im Futterbaugebiet (auf frisch genutzten Flächen) sowie im Wald während des ganzen Jahres, sofern Boden gut befahrbar
 - Handbohrungen bei entsprechender Rücksichtnahme fast immer möglich, erntereife Kulturen meiden! Wald: beliebig

3.2 Arbeitslegende (Kartierschlüssel)

Die Arbeitslegende ist eine (aufgrund des vorgängig erhobenen Bodeninventars) nach bestimmten Kriterien **geordnete** und **codierte** Liste von Bodeneinheiten (Tab. 3).

Die Aufnahmen der einzelnen repräsentativen Standorte des Bodeninventars werden direkt als Bodeneinheiten in die Arbeitslegende übernommen.

Die Arbeitslegende wird während der Kartierarbeiten durch zusätzliche Bodeneinheiten ergänzt. Für wichtige neu hinzugefügte Bodeneinheiten wird wiederum ein Referenzprofil bzw. eine Referenzbohrung beschrieben (Profilblatt).

Für jede Bodeneinheit sind Wasserhaushalt/Gründigkeit, Bodentyp, Untertyp(en), Skelettgehalt und Feinerdekörnung immer anzugeben (Abb. 4). Vor allem bei Detailkartierungen

können je nach Fragestellung auch Fruchtbarkeitsstufe, Produktionsfähigkeitsstufe, Humusform, Substrat oder Bodenpunktzahl in die Arbeitslegende mitaufgenommen werden (Tab. 3).

Die Arbeitslegende wird zweckmässigerweise gleich aufgebaut und gegliedert wie die spätere definitive Legende. Für land- und forstwirtschaftliche Zwecke ist es sinnvoll, die Legende mit dem **Wasserhaushalt** als oberstem Einteilungskriterium aufzubauen.

3.2.1 Codierung der Arbeitslegende

Die in der Beschreibung der Bodeneinheiten enthaltenen Eigenschaften werden in der Arbeitslegende codiert. Die Codierung sollte im Minimum die Elemente gemäss Abb. 4 enthalten. Dieselbe Codierung wird für die Beschriftung der Bodeneinheiten auf der Feldkarte verwendet (vgl. 3.3.3).

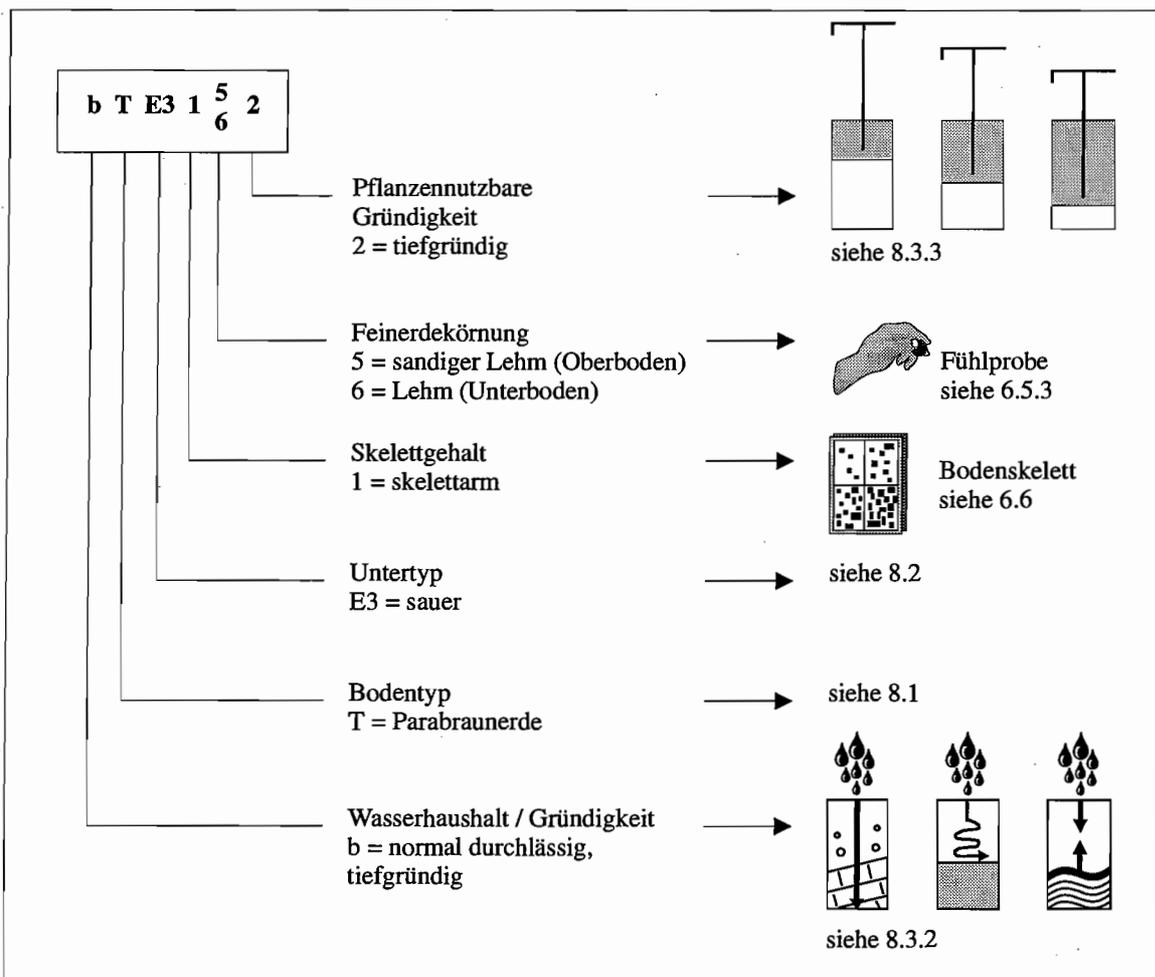


Abb. 4: Codierung der Arbeitslegende

Wasserhaushalt/ Gründigkeit	Boden- typ	Substrat	Untertyp	Skelett	Kömung	Gründig- keit	Humus	Prod. stufe	Profil- beleg
Reine Einheiten									
a	E	MO	G1-G2	0	5-12	1	Mf	I	WB 516
a	T	MO	E3-E4	1	5/6	1-2	Mt-Mf	I	
b	B	KO(SC)		1-2	5	2-1	Mt	II	WB 507
b	B	HL(SC)	ZT	2	6	2	Mt	II	
b	E	SA	E3-E4	0	5	2	Fm	II	
b	E	KO	G2	1	5-12	2-1	Mt	II	
b	K	AL	G1	1-2	5	2	Mt	II	
b	T	SW	E3	1/2	5/6	2	Mt-Mf	II	
c	B	ME	I1	0-1	6-7	3	Mt	III	Hw 501
c	B	HS	ZT	3	5-6	3	Mt	III	
c	E	SA	E3-E4	0-1	5	3	Mf-Fm	III	WB 505
c	E	ME	I1	0-1	6-7	3	Mt	III	
c	T	SC	E3	2/3	5/6	3	Mt	III	
d	B	SC	VF	3	5-6	4	Mt	IV	Hw 511
d	K	SA	KF	0	5	4	Mt-Mf	IV	
f	E	ME	I2	0	6/7-13	2	Mt	II	
g	E	LO	E4,I2,ZT	0-1	5-12	3	Mf-Fa	III	Hw 503
h	O	ME	I2,KR,FB	0	6-12	4	Mt	IV	
k	B	HL	G3	1-2	6	2	Mt	I-II	Hw 511
k	K	HL	G3	0-1	5-6	2	Mt	II	
o	Y	ME	E3	0-1	6/7-8	3	Mt	III	
t	W	KO	E1-E2	0	5	3	Mt	II	
x	G	HL	OM,R3,	0	5	4	MHt	III	
Zusammengesetzte Einheiten									
c	T	SC	E3	2-3	5/6	3	Mt	III	EB 501
d	O	SC	KR	3	5	4-5	Mt	IV	
t	W	KO	E1	1-2	5	3	Mt	III	
x	G	KO	OM	0-1	5	4	MHt	IV	

Tab. 3: Beispiel einer Arbeitslegende erweitert durch Angaben über Substrat (vgl. 7.1.4), Humusform (vgl. 7.2) und Produktionsfähigkeitsstufe (vgl. 9.4.1)

Bei länger dauernden Projekten ist es sinnvoll, nach einer gewissen Zeit und falls das kartierte Gebiet als repräsentativ betrachtet wird, eine definitive Legende zu erstellen und diese bei der weiteren Feldarbeit zu benützen. Dadurch wird auch das etappenweise Herstellen der definitiven Karten ermöglicht.

3.2.2 Bodenkartei

Für grössere Kartierungsprojekte empfiehlt sich auch das Anlegen einer eigentlichen Bodenkartei (Abb. 5). Durch Geländeskizze, genauere Angaben des Ausgangsmaterials sowie Bemerkungen zu verwandten Böden erhält der Kartierer eine bessere Vorstellung der sonst etwas abstrakt codierten Legende. Vor allem wenn mehrere Personen am selben Projekt arbeiten ist dies von Vorteil.

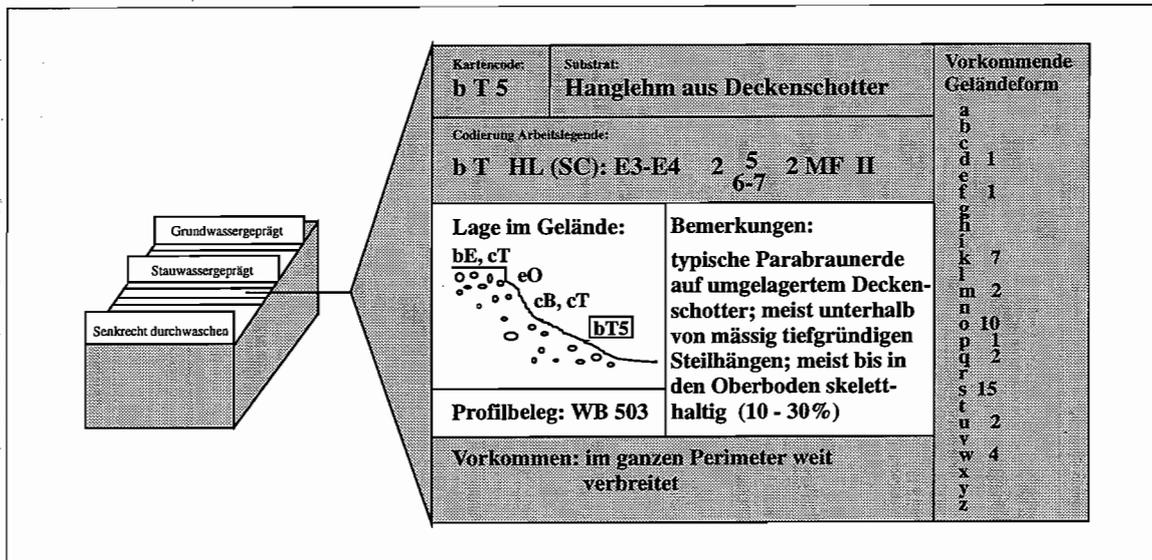


Abb. 5: Aufbau einer Bodenkartei

3.3 Kartierarbeit

Die Kartierarbeit im Gelände beinhaltet die eigentliche Abgrenzung von Teilflächen und die Ermittlung ihrer Boden-, resp. Standorteigenschaften, die Zuordnung zu einer Bodeneinheit des Inventars bzw. der Legende und die Übertragung auf eine Feldkarte.

3.3.1 Grundlegende Begriffe

Teilfläche:

Unter (Kartier-)Teilflächen sind die vom Kartierer auf Karten oder Luftbilder abgegrenzten Flächen zu verstehen. Es können Reine Teilflächen (Pedotope) oder Zusammengesetzte Teilflächen (Pedokomplexe) dargestellt werden. Der Inhalt der Teilflächen wird durch die entsprechende Bodeneinheit ausgedrückt.

Reine Teilfläche:

Darstellung von Flächen, deren Eigenschaften nicht oder nur in engen Grenzen variieren (z.B. Horizont-

mächtigkeit). Reine (Kartier-)Teilflächen können aber auch kleinflächige Einschlüsse andersartiger Böden (Fremdanteil) enthalten.

Zusammengesetzte Teilfläche: Darstellung von Bodenkomplexen, d.h. Zusammenfassung mehrerer Reiner Einheiten, welche sich in ihrer Genese und in ihren Eigenschaften unterscheiden und in kleinräumigem Wechsel nebeneinander auftreten, so dass sie im entsprechenden Masstab nicht gegeneinander abgegrenzt werden können.

Fremdanteil: Flächenanteil von eigentlich anders zu klassierenden Einschlüssen in Reinen Teilflächen. Die Einschlüsse werden in der Bezeichnung (= Bodeneinheit) nicht erwähnt. Masstab und Genauigkeitsanforderung einer Kartierung bestimmen die zulässige Höhe des Fremdanteils (vgl. 3.3.5).

Variationsbreite: Streubereich, innerhalb welchem einzelne Merkmale und Eigenschaften des Bodens aufgrund seiner flächenhaften Ausdehnung variieren. Am häufigsten werden für die Eigenschaften Skelettgehalt, Feinerdekörnung und Gründigkeit bestimmte Variationsbreiten innerhalb derselben Bodeneinheit zugelassen (vgl. 3.3.5). Horizontbedingte Unterschiede innerhalb des Profils gehören nicht zur hier beschriebenen Variationsbreite.

Bodenform: Bodensystematische Klassierung der Reinen Teilfläche. Sie beinhaltet Bodentyp, Untertyp, Skelettgehalt, Feinerdekörnung, Wasserhaushalt und pflanzennutzbare Gründigkeit.

Bodeneinheit: Für die Darstellung und Bezeichnung auf Karten notwendige Zusammenfassung von gleichartigen Böden. Die Bodeneinheiten sind in der Legende beschrieben, durch Angabe der zugehörigen Bodenform(en) und der vorhandenen Variationsbreiten einzelner Merkmale und Eigenschaften. Der Code der Bodeneinheiten dient zur Bezeichnung der Teilflächen auf der Karte. Analog zu den Teilflächen werden Reine und Zusammengesetzte Bodeneinheiten (Komplexe) unterschieden.

- Kartierungseinheit:** Übergeordneter Begriff für Einheiten jeglicher Art, die zum Zwecke der Kartierung gebildet werden:
- Bodeneinheiten
 - Bodeneinheiten und Landschaftselement
 - Vegetationseinheiten
 - geomorphologische Einheiten
 - etc.
- Oberboden:** Hauptwurzelzone der Krautschicht; meist der Ah-Horizont. Wo vorhanden werden auch der Oh- und der Of-Horizont dazugezählt. Im Ackerbau versteht man darunter den Pflughorizont.
- Unterboden:** Unter dem Oberboden gelegener aufgeschlossener, biologisch aktiver Boden.
- Untergrund:** Nicht oder kaum aufgeschlossenes Ausgangsmaterial oder dauernd vernässter Bodenteil.

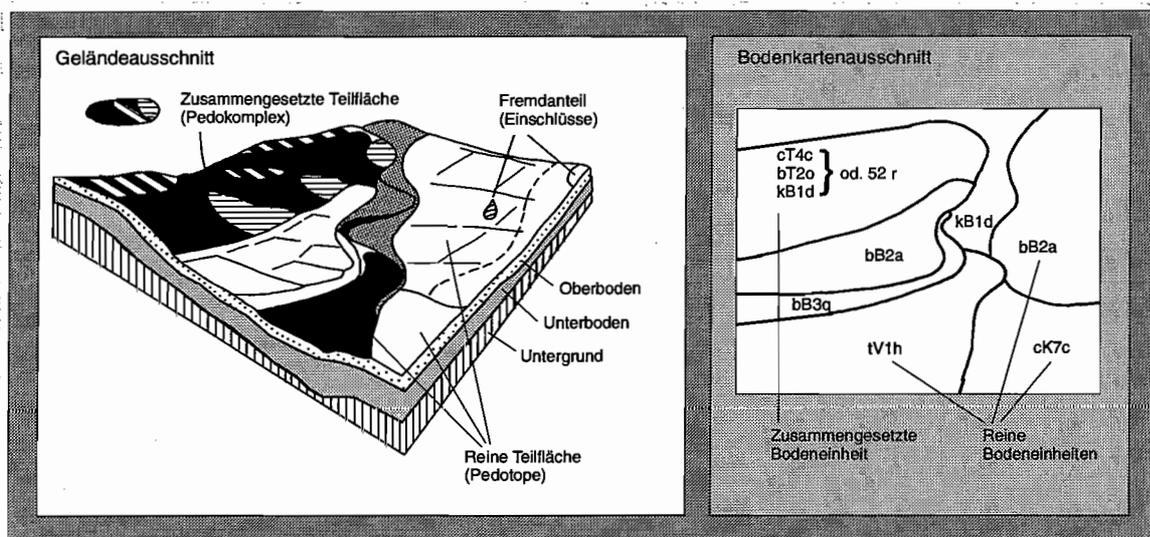


Abb. 6: Vergleich Gelände - Bodenkarte sowie Verwendung wichtiger Begriffe

3.3.2 Arbeitsunterlagen und Arbeitsgeräte

Arbeitsunterlagen:

- Feldkarte
- Arbeitslegende (Kartierschlüssel)
- weitere Karten (z.B. geol.Karte) und eventuell Luftbilder für die Orientierung im Gelände

Arbeitsgeräte:

- Handbohrstock (Stichel)
- Pürckhauer mit Hammer
- Handbohrer (Holländer, Edelmannbohrer)
- Neigungsmesser
- feldtaugliches pH-Messgerät
- verdünnte Salzsäure
- Messrad/Messband
- Messtisch
- Kompass
- Höhenmesser
- Wasserflasche (zur Befeuchtung trockener Bodenproben)
- Farbtafel (MUNSELL)

3.3.3 Die Feldkarte

Die Feldkarte ist ein Dokument, auf dem die Grenzen und die Beschreibung der Teilflächen, Bohrpunkte sowie evtl. Bodenpunktzahlen und andere Beobachtungen eingetragen werden. Die auf der Karte ausgeschiedenen Bodeneinheiten werden gemäss Arbeitslegende codiert (vgl. 3.2.1). Für jede Einheit wird zudem die Geländeform (Oberflächengestalt und Hangneigung) angegeben (vgl. 4.2, Tab. 6). Der codierte Eintrag auf der Feldkarte wird **Kartierungscode** genannt.

Als Unterlagen für die Feldaufnahmen dienen normalerweise topographische Karten mit Höhenlinien, doch können je nach Situation z.B. auch Parzellenpläne, Luftbilder oder Orthofotos als Feldkarte benützt werden. Der Massstab der Feldkarte ist im allgemeinen grösser als der gewünschte Massstab der Bodenkarte (vgl. 4.1, Tab. 4). Es ist vorteilhaft, von der Feldkarte laufend ein Doppel (Sicherheitskopien) zu erstellen.

3.3.4 Flächenkartierung

Das Abgrenzen der Teilflächen geschieht nach allen (am Profil oder Bohrkern) ansprechbaren Bodeneigenschaften. Ändert im Gelände eine Eigenschaft deutlich, so wird eine Grenze gezogen. Aber auch die Topographie spielt beim Abgrenzen der Teilflächen eine wichtige Rolle. In der Regel gilt, dass mit dem Wechsel der topographischen Verhältnisse

auch die Bodenverhältnisse ändern. Die Kartierungsteilflächen werden somit aufgrund pedologischer **und** topographischer Gesichtspunkte gebildet!

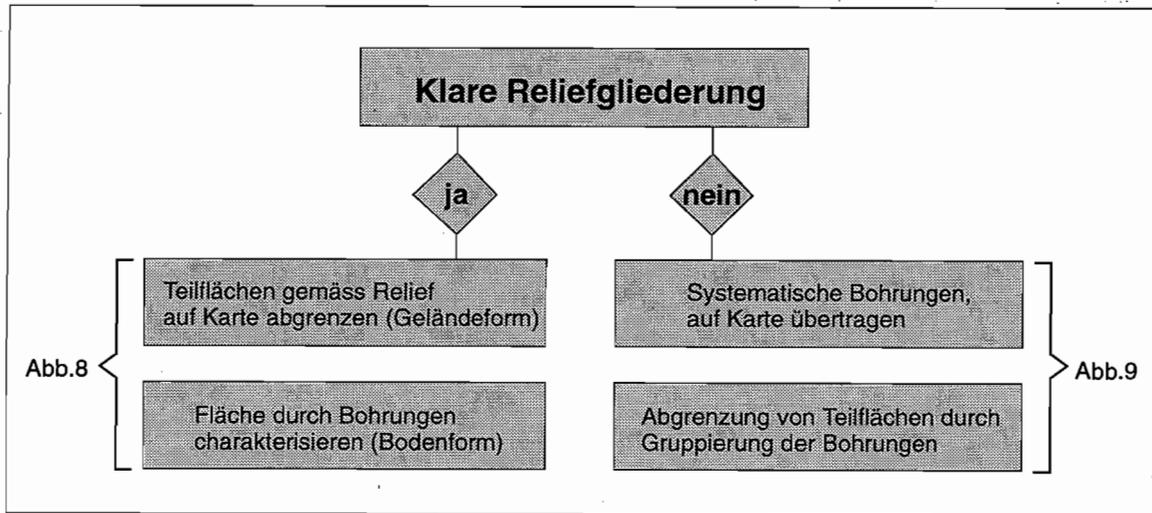


Abb. 7: Vorgehen bei der Abgrenzung von Kartierungsteilflächen

Ist das Gelände gut gegliedert, geschieht die erste Abgrenzung der Teilflächen nach den Geländeformen, d.h. nach dem **Höhenlinienverlauf** auf der Karte (Abb. 8). Danach werden die Flächen mit bodenkundlichen Inhalten "gefüllt". Mit Pürckhauer, Handbohrer oder Stichel werden die einzelnen Teilflächen bodenkundlich angesprochen und die Resultate in Form des Kartierungs-codes auf der Feldkarte notiert. Vorgängig gemachte Reliefanalysen mittels Luftbild oder auch nur mittels topographischer Karten können dabei von Vorteil sein.

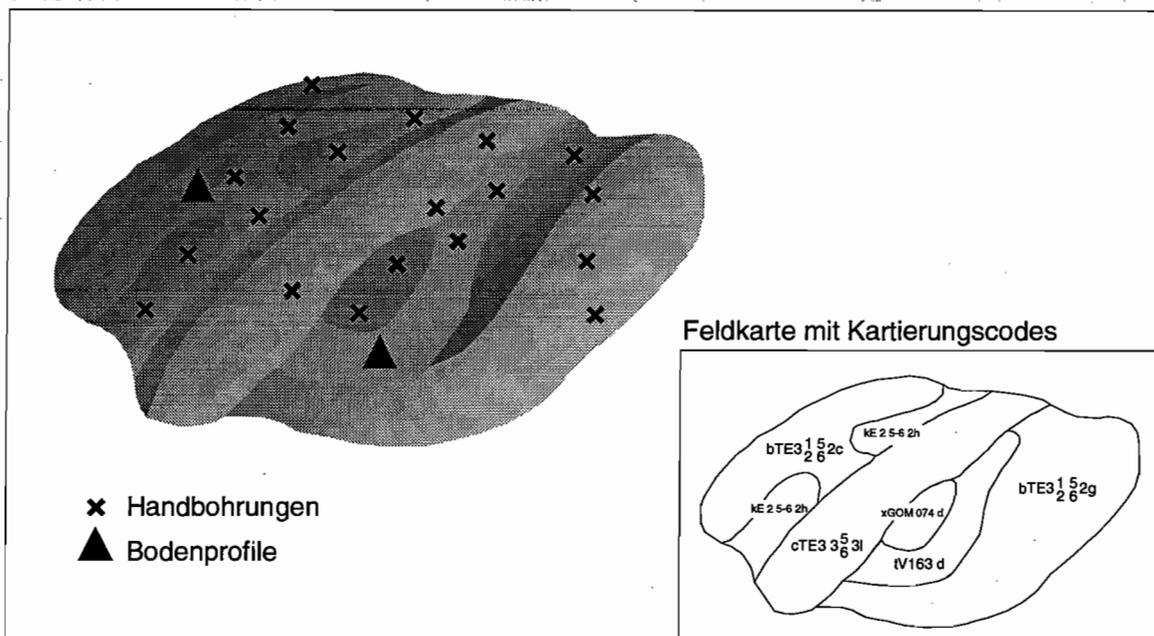


Abb. 8: Kartierung nach Geländeformen (Beispiel: Moränenhügelland)

Jede Teilfläche muss an mehreren Stellen angesprochen werden (je nach Grösse). So wird z.B. ein Moränewall auf der Kuppe, am Mittelhang und am Hangfuss beurteilt. Werden Unterschiede festgestellt, muss entschieden werden, ob es sich um eine "normale" Variationsbreite oder um Einschlüsse handelt, ob evtl. die topographisch abgegrenzte Teilfläche weiter unterteilt oder ob eine Komplexeinheit gebildet werden soll.

Bietet das Relief keine Anhaltspunkte, Teilflächen abzugrenzen (z.B. in Alluvialebenen), muss das gesamte Gebiet systematisch begangen und die Böden immer wieder angesprochen werden. Am besten wird jede Bohrung auf der Feldkarte notiert, so dass danach ähnliche oder gleiche Kartiereintragungen umgrenzt werden können (Abb. 9).

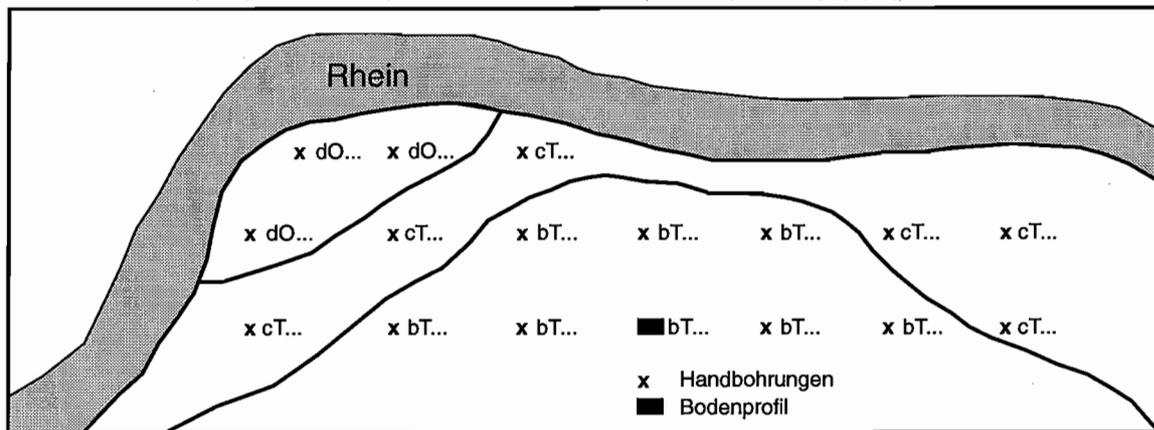


Abb. 9: Kartierung mittels systematischer Bohrungen (Beispiel: Schotterebene)

Wie in der Arbeitslegende vorgegeben, wird für jede Einheit mindestens **Wasserhaushalt, Bodentyp, Untertyp, Skelettgehalt, Feinerdekörnung und pflanzennutzbare Grün- digkeit** angesprochen; zusätzlich wird auch **die Geländeform** (vgl. 4.2, Tab. 6) bestimmt und auf der Feldkarte eingetragen. Dazu kommen bei den Detailkartierungen die je nach Fragestellung variierenden Untersuchungen resp. Eintragungen.

Nach Möglichkeit wird versucht, den bodenkundlichen Befund der Teilflächen einer Bodeneinheit der Arbeitslegende zuzuordnen. Ist dies nicht möglich, wird die Legende um den "neuen Boden" erweitert.

Mit zunehmenden Kenntnissen der pedologischen Verhältnisse eines Gebietes (Zusammenhang zwischen Relief, Muttermaterial und Bodeneigenschaften resp. Bodenausprägung) wird der Kartierer auch vermehrt aufgrund von Analogieschlüssen arbeiten.

Günstigste **Jahreszeit** für die Kartierungen im Felde sind Frühling und Herbst. Die in dieser Zeit meist offenen Ackerflächen erleichtern die Kartierarbeit wesentlich. Im Wald sind Frühjahr und Sommer am besten geeignet, da sich in dieser Zeit über Vegetationsbeobachtungen auch Hinweise auf Bodenunterschiede ergeben. In den Wintermonaten ist die Kartierarbeit abgesehen vom Schnee auch wegen der Lichtverhältnisse (z.B. Erkennen

der Vernässungsanzeichen) eingeschränkt. Vom Wassersättigungsgrad der Böden her gesehen (leichteres Eindringen der Bohrgeräte) wäre auch schnee- und frostfreie Winterzeit ideal.

Der eigentliche Kartiervorgang wird auch vom **Masstab** mitbestimmt. Bei Detailkartierungen ist es im Vergleich zur Übersichtskartierung 1:25'000 unumgänglich, das gesamte Gebiet sehr intensiv zu begehen. Da mit Detailkartierungen immer konkrete Zielsetzungen verfolgt werden, braucht es auch mehr Zeit, diese zusätzlichen Erhebungen durchzuführen (z.B. Bestimmen der Bodenpunktzahl, Nutzungseignung, Produktionsfähigkeit etc.).

3.3.5 Variabilität von Boden- und Geländeform

In der Natur finden sich meist keine grösseren Flächen mit einheitlichen Bodenmerkmalen. Kleine Unterschiede sind praktisch bei jeder Bodenbohrung anzutreffen, auch wenn sie nur wenige Meter voneinander entfernt liegen.

Ebenso sind die Grenzen in der Natur meist nicht so scharf, wie dies die Grenzlinien auf der Karte vorgeben, sondern es handelt sich oft um mehr oder weniger breite Übergangszonen. Um Teilflächen ausreichender Grösse und geschlossener Form zu erhalten, müssen gewisse Abweichungen von den tatsächlichen Formen und Grenzen der elementaren Bodenareale sowie andersartige Einschlüsse in Kauf genommen werden. **Bodengrenzen "sucht" man nicht, man legt sie fest.** Deshalb darf man bei der Benützung von Bodenkarten keine volle Übereinstimmung zwischen Karte und Boden an jedem einzelnen Punkt erwarten.

Normalerweise ist der Kartierer bestrebt, **Reine Teilflächen**, d.h. Bodenformen, deren Eigenschaften nur in engen Grenzen variieren, zu bilden. Dies ist aber aufgrund der oft kleinflächig auftretenden Boden- oder Reliefwechsel nicht immer möglich, so dass **Zusammengesetzte Teilflächen** (Komplexe) gebildet werden müssen (vgl. 3.3.1).

Reine Teilflächen

Den natürlichen Verhältnissen entsprechend ist es angebracht, für die Eigenschaften Skelettgehalt, Feinerdekörnung und Gründigkeit bestimmte **Variationsbreiten** innerhalb Reiner Bodeneinheiten zu tolerieren. Die Toleranz der Variationsbreite ist bei der Übersichtskartierung grösser als bei der Detailkartierung.

Schreibweise:	ska - skh	skelettarm bis skeletthaltig
	sL - L	sandiger Lehm bis Lehm
	tg - mtg	tiefgründig bis mässig tiefgründig

Reine Teilflächen können aber auch einen gewissen Anteil einheitsfremder Einschlüsse (Fremdanteil) aufweisen. Es werden zwei Kategorien von Einschlüssen unterschieden:

- Einschlüsse, die bezüglich Klassifikation und Interpretation einheitsfremd sind. Die Toleranz beträgt bei Detailkartierungen bis zu 10%, bei der Bodenkarte 1:25'000 bis zu 20%.
- Einschlüsse, die anders klassifiziert werden müssten, aber bezüglich Interpretation zur betreffenden Einheit gehören. Die Toleranz beträgt bei Detailkartierungen 20%, bei der Bodenkarte 1:25'000 bis zu 40%.

Je mehr sich Beschaffenheit und Eigenschaften des Fremdanteils (Wasserhaushalt, Gründigkeit, Skelettgehalt im Oberboden, Bodenqualität etc.) von denjenigen des Hauptanteils unterscheiden, desto kleiner ist der zulässige Fremdanteil.

Zusammengesetzte Teilflächen

Häufig treten verschiedene Böden so kleinflächig auf, dass sie im entsprechenden Massstab nicht gegeneinander abgegrenzt werden können, sondern als zusammengesetzte Teilflächen ausgeschieden werden müssen.

Die Glieder einer zusammengesetzten Teilfläche sind **in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit**, d.h. normalerweise nach Flächenanteil aufzuführen. Für Detailkartierungen können die Flächenanteile geschätzt und angegeben werden. Nach dem dominierenden Boden wird in der Regel die Komplexeinheit eingefärbt.

Entscheidungskriterien

Der Umgang mit der Variabilität im Gelände ist eine der schwierigsten Aufgaben beim Kartieren. Beim Entscheid über die Grenzziehung sowie über den Inhalt der Teilflächen sind zwei Aspekte besonders wichtig:

- Bei der Kartierarbeit sollte man sich immer die **praktische Anwendung** sowie die Lesbarkeit der Karte vor Augen halten. Kommen z.B. innerhalb einer topographisch abgegrenzten Einheit unterschiedliche Bodenformen vor, die sich aber bezüglich Interpretation nicht unterscheiden, ist es zweckmässig, diese in einer einzigen Bodeneinheit zusammenzufassen und die Variationsbreite anzugeben (Abb. 10). Beim Entscheid spielen auch die Grösse der Teilfläche sowie der benachbarten Flächen eine Rolle. Vor allem bei kleineren Flächen ist es sinnvoll, bereits beim Kartieren im Hinblick auf die Anwendung und Lesbarkeit der Karte/Legende zu "generalisieren".

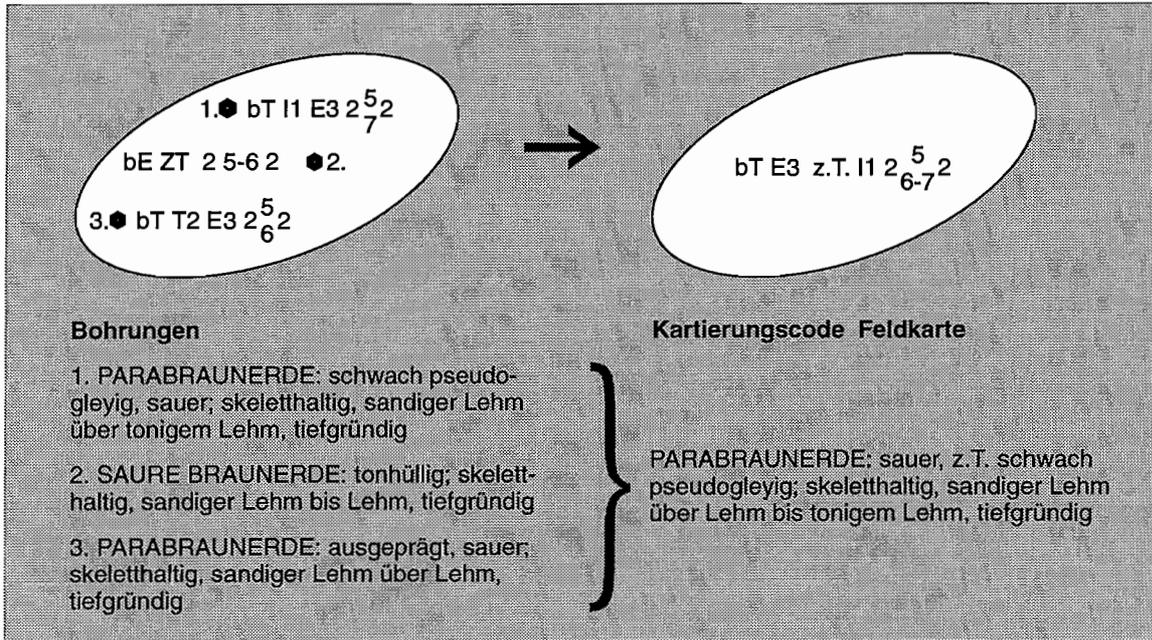


Abb. 10: Zusammenfassung ähnlicher Bodenformen beim Kartieren (Bsp.: Moränenteilfläche unter Wald)

- Beim Kartieren ist es sehr wichtig, die **Gesetzmässigkeiten zwischen Ausgangsmaterial, Relief und Bodenform** zu erkennen und mit **Analogieschlüssen** zu arbeiten (Abb. 11). So sollte der Kartierer versuchen, in ähnlichen Lagen auf gleichem Ausgangsmaterial die gleichen Böden zu kartieren und sich nicht durch lokal geringe Bodenunterschiede oder durch Bohrungen in Übergangsbereichen verunsichern zu lassen.

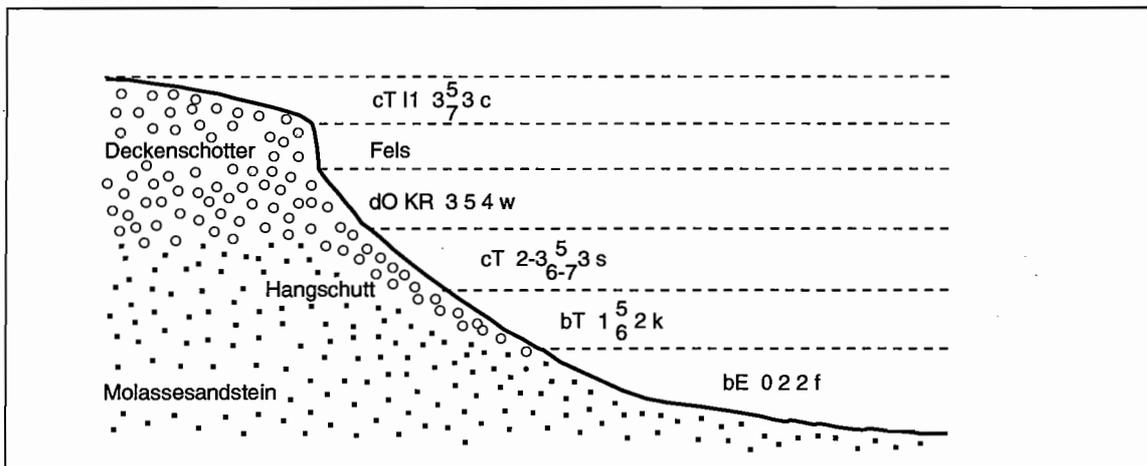


Abb. 11: Zusammenhang Substrat - Relief - Boden (Beispiel: Substratabfolge Deckenschotter - Hangschutt - Molassesandstein)

Hat man die Gesetzmässigkeit, z.B. der Bodenabfolge cT — dO — cT — bT — bE erkannt (Abb. 11), ist es zweckmässig, am nächsten Hang mit der gleichen geologischen Ausgangslage wieder dieselben Böden auszuscheiden, resp. die Variation in der Bodeneinheitsumschreibung der Arbeitslegende "aufzufangen".

Oberboden, Unterboden

Von der vorgängig beschriebenen flächenhaften Variationsbreite sind horizontbedingte (vertikale) Unterschiede im Profil zu unterscheiden. Die Bodeneigenschaften Skelettgehalt und Feinerdekörnung werden, wenn notwendig, nach Oberboden und Unterboden getrennt angesprochen:

Schreibweise: skf/skh skelettfrei über skeletthaltig
 sL/L-tL sandiger Lehm über Lehm bis toniger Lehm

4 Darstellung der Ergebnisse

4.1 Bereinigung von Arbeitslegende und Feldkarte

- Wichtigste Ziele:
- Zuordnung jeder Kartierteilfläche zu einer Bodeneinheit der Bodenkarten-Legende.
 - Die Kartierteilflächen sollten im Masstab der endgültigen Bodenkarte eine Minimalfläche von ca. 1cm² nicht unterschreiten (Tab. 4).
 - Feldkarten und Legende sind so zu bereinigen, dass die kartographische Bearbeitung durch Dritte erfolgen kann.

Bodenkarte		1 cm ² auf Bodenkarte entspricht im Gelände		Feldkarte	
Masstab	minimale Fläche	Fläche	Seitenlänge bei quadratischer Form	Masstab ¹⁾	minimale Fläche
1: 1'000	1 cm ²	1 a	10 m	1: 500	4 cm ²
1: 5'000	1 cm ²	25 a	50 m	1: 1'000	25 cm ²
1: 10'000	1 cm ²	1 ha	100 m	1: 5'000	4 cm ²
1: 25'000	1 cm ²	6,25 ha	250 m	1: 10'000	6,25 cm ²
1: 50'000	1 cm ²	25 ha	500 m	1: 25'000	4 cm ²
1: 100'000	1 cm ²	100 ha	1 km	1: 50'000	4 cm ²
1: 200'000	1 cm ²	4 km ²	2 km	1: 100'000	4 cm ²

1) kann variieren

Tab. 4: Mindestabmessungen für eine Kartierteilfläche bei verschiedenen Masstäben

Der Aufwand zum Bereinigen von Feldkarte und Arbeitslegende hängt davon ab, wie während der Feldarbeit vorgegangen wird. Wenn eine Arbeitslegende von Beginn der Kartierarbeit konsequent eingesetzt und erweitert wird, genügt es, sie am Ende auf Fehlstellen zu kontrollieren; danach kann bereits der definitive Kartencode (vgl. 4.2) in die Teilflächen eingesetzt werden. Wenn ohne Kartierschlüssel (Arbeitslegende) gearbeitet wird, ist namentlich bei grösseren Projekten mit zeitintensiven Bereinigungen im Büro zu rechnen, da z.B. viele ähnliche Bodenformen zu einer Bodeneinheit zusammengefasst werden müssen. Zwischen den geschilderten zwei Fällen kommen in der Kartierpraxis Mischformen vor.

Im folgenden sind die wichtigsten Schritte der Bereinigung zusammengestellt.

Arbeitslegende

- Inventar aller vorkommenden Bodeneinheiten resp. Bodenformen; Häufigkeitsstatistik
- Zusammenfassen ähnlicher Bodeneinheiten (-formen) zu einer einzigen; zuordnen einer selten gebrauchten Einheit in eine, bzgl. Interpretation, gleichwertige Einheit
- Ergänzen der Legende mit den Komplexeinheiten
- Zuordnen des definitiven Kartencodes zu jeder Bodeneinheit
- Bodenbeschreibung vereinheitlichen: z.B. Schreibweise und Reihenfolge; Untertypen definitiv festlegen
- Profilbelege wichtigen Bodeneinheiten zuordnen

Feldkarten

- Fehlstellen beheben: nicht oder unvollständig beschriftete Teilflächen, unvollständige oder mehrdeutige Grenzziehung
- nicht kartierte Flächen kennzeichnen: z.B. überbautes Gebiet innerhalb des Perimeters
- Anschlüsse und Anschriften benachbarter Pläne aufeinander abstimmen
- wo Minimalflächen (Tab. 4) nicht erreicht werden: Eingliederung in Nachbarteilfläche oder Bildung einer zusammengesetzten Einheit
- Standardprofilstellen eintragen und beschriften
- Abstimmen der Komplexglieder mit benachbarten Reinen Bodeneinheiten
- Zusammengesetzte Teilflächen: Reihenfolge der Komplexglieder festlegen, evtl. mit Angabe der einzelnen Flächenprozentanteile (v.a. wichtig bei Bodenbewertungen)
- Eintrag des definitiven Kartencodes

4.2 Bodenkartencode

Der Code einer Bodeneinheit der Arbeitslegende resp. Feldkarte enthält zu viele Stellen, um direkt auf die Karte gedruckt werden zu können. Um eine gute Lesbarkeit der Karte zu gewährleisten, ist mit einem möglichst kurzen Bodenkartencode auszukommen. In der Regel besteht er aus **vier** Stellen (Abb. 12). Der Bodenkartencode ist zugleich Einstieg in die detaillierte Bodenkartenlegende.

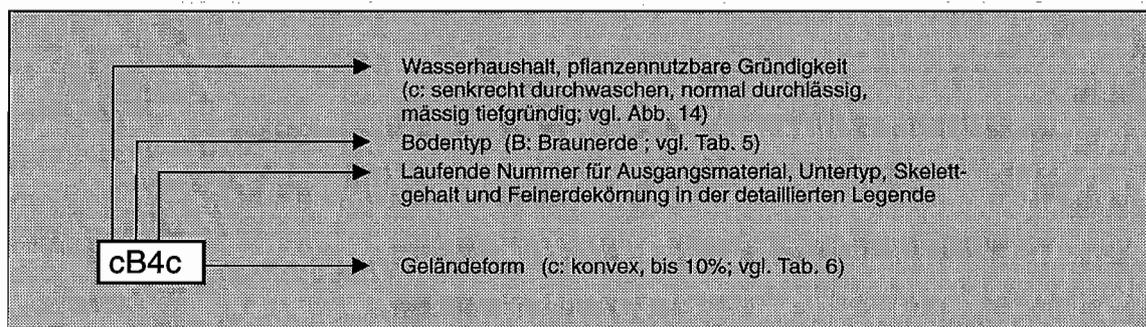


Abb. 12: Kartencode für Reine Bodeneinheiten

Bei Zusammengesetzten Bodeneinheiten (Abb. 13) kann, sofern auf der Karte genügend Platz für die Beschriftung vorhanden ist, jedes Komplexglied mit einem Code bezeichnet werden. Zweckmässigerweise können Komplexeinheiten aber auch mit **Nummern** bezeichnet werden. Innerhalb eines Projektes darf aber **nur ein** Beschriftungssystem gewählt werden.

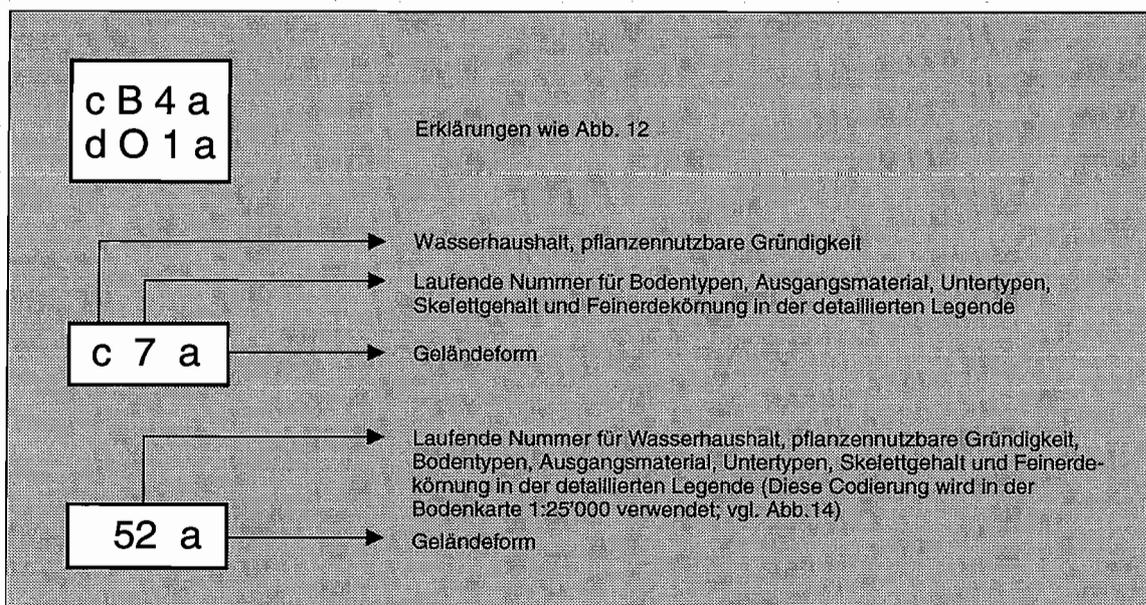


Abb. 13: Kartencode für Zusammengesetzte Bodeneinheiten

Abb. 14: Codierung Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit sowie Farbgebung (Kurzlegende der Bodenkarte 1:25'000)

A	Aueboden	N	Halbmoor
B	Braunerde	O	Regosol
C	Humus-Karbonatgesteinsboden	P	Eisenpodsol
D	Humus-Mischgesteinsboden	Q	Braunpodsol
E	Saure Braunerde	R	Rendzina
F	Fluvisol	S	Humus-Silikatgesteinsboden
G	Fahlgley	T	Parabraunerde
H	Humuspodsol	U	Mischgesteinsboden
I	Pseudogley	V	Braunerde-Gley
J	Karbonatgesteinsboden	W	Buntgley
K	Kalkbraunerde	X	Auffüllung
L	Silikatgesteinsboden	Y	Braunerde-Pseudogley
M	Moor	Z	Phaeozem

Tab. 5: Codierung wichtiger Bodentypen

a	eben	0 - 5%	Ebene, Plateau
b	gleichmässig geneigt	5 - 10%	Terrasse, Plateau
c	konvex	- 10%	flache Kuppe
d	konkav	- 10%	flache Mulde
e	ungleichmässig	0 - 10%	(schwach wellig)
f	gleichmässig geneigt	10 - 15%	Flachhang
g	konvex	- 15%	Rücken, Kuppe, Oberhang
h	konkav	- 15%	Mulde, Hangfuss
i	ungleichmässig	0 - 15%	(wellig)
* j	gleichmässig geneigt	15 - 20%	Flachhang
* k	gleichmässig geneigt	20 - 25%	Flachhang
l	konvex	- 25%	Kuppe, Rücken, Oberhang
m	konkav	- 25%	Mulde, Hangmulde, Hangfuss
n	ungleichmässig	0 - 25%	(stark wellig)
o	gleichmässig geneigt	25 - 35%	Starkhang
p	konvex	- 35%	Kuppe, Oberhang, Rücken, Rippe
q	konkav	- 35%	Hangmulde, enge Mulde, Hangfuss
r	ungleichmässig	0 - 35%	(schwach hügelig)
s	gleichmässig geneigt	35 - 50%	Starkhang
t	konvex	- 50%	Oberhang, Kuppe, Rippe
u	konkav	- 50%	Hangmulde, Hangfuss
v	ungleichmässig	0 - 50%	(hügelig)
w	gleichmässig	0 - 75%	Steilhang
x	ungleichmässig	0 - 75%	(kupiert)
y	gleichmässig	> 75%	extremer Steilhang
z	ungleichmässig	0 - >75%	(zerklüftet)

* Bei der Bodenkarte 1:25'000 werden die Klassen j und k zusammengefasst: k = 15-25%

Tab. 6: Codierung der Geländeformen (Oberflächengestalt und Hangneigung)

4.3 Bodenkartenlegende

Die Bereinigung der Arbeitslegende führt zur definitiven Bodenkartenlegende. In der Bodenkartenlegende findet sich der ausführliche Beschrieb (in Worten) von Bodentyp und Bodeneigenschaften, die in der Arbeitslegende sowie auf der Bodenkarte als Codes aufgeführt sind. Die definitive Legende ist in der Regel gleich gegliedert wie die Arbeitslegende (vgl. 3.2.1, Tab. 3). Die übergeordnete Gliederung erfolgt nach Wasserhaushalts-/Gründigkeitsstufen, d.h. nach zunehmender Vernässung bzw. abnehmender pflanzennutzbarer Gründigkeit. Innerhalb der Wasserhaushalts-/Gründigkeitsstufen wird zuerst der Bodentyp angegeben (wenn möglich mit Ausgangsmaterial), danach folgen Untertypen, Skelettgehalt und Körnung (Tab. 7). Je nach Masstab und Projekt kann die Legende durch zusätzliche Angaben ergänzt werden.

Gliederung (Priorität)	Eigenschaft	Arbeitslegende	Bodenkartencode	Bodenkartenlegende
1	Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit	a - z	a - z	Zwischentitel
2	Bodentyp (inkl. Ausgangsmaterial)	A - Z	A - Z	in Worten
3	Untertyp	nach Priorität des Kartierers	Laufnummer innerhalb gleicher Wasserhaushalt/Bodentyp-Kombination	in Worten, in entsprechender Reihenfolge
	Skelettgehalt Körnung Gründigkeit	0 - 3 bzw. 9 1 - 13 0 - 6		in Worten, oder Abkürzungen
4	Geländeform	(a - z)	a - z	(a - z)

Tab. 7: Zusammenhang Arbeitslegende - Bodenkartencode - Bodenkartenlegende (bei Reinen Bodeneinheiten)

Arbeitslegende	Bodenkartencode	Bodenkartenlegende
bB (SA) KE 0 5 2	b B 1 c	<u>Normal durchlässig</u> BRAUNERDE aus Molassesand, teilweise entkarbonatet; skelettfrei, sandiger Lehm, tiefgründig

Tab. 8: Beispiel Zusammenhang Arbeitslegende - Bodenkartencode - Bodenkartenlegende

Boden- einheit	Bodentyp, Ausgangsmaterial Untertyp(en) * mit Standardprofil	Skelett- gehalt	Fein- erde- körnung	Pflanzen- nutzbare Gründigkeit
SENKRECHT DURCHWASCHENE BÖDEN				
Normal durchlässig: sehr tiefgründig und tiefgründig				
bK9	KALKBRAUNERDE aus Hanglehm, z.T. aus Schwemmelmaterial (Muschelkalk)	skh	L-IU	tg-mtg
bK10	KALKBRAUNERDE aus Riss-Moräne: schwach pseudogleyig	ska-skh	tU-tL	tg
bK11	KALKBRAUNERDE aus Hanglehm (Dogger): z.T. schwach pseudogleyig, in Mulden schwach gleyig	ska-skh	tL	tg
bK12	KALKBRAUNERDE aus Hanglehm (Dogger) über Ton u. Mergel (Lias, Opalinuston): schwach pseudogleyig bis pseudogleyig	skf-ska	tL/IT	tg
bK13	KALKBRAUNERDE aus sandigem Alluvium: grundfeucht, diffus	skf-ska	sL-IU	tg
bT1	PARABRAUNERDE aus Würmschotter: Wald: sauer	ska-skh	sL/L	tg
bT2	PARABRAUNERDE aus sandigem Alluvium: Wald: sauer	skf-ska	sL/sL-L	tg
bT3	PARABRAUNERDE aus Deckenschotter: z.T. schwach pseudogleyig und dicht, neutral bis schwach sauer, Wald: sauer	ska-skh	sL/L	tg
bT4	PARABRAUNERDE aus sandigem Hanglehm (Schilfsandstein): sauer, mit altem Steinbruch	skf-ska	sL/L	tg
bT5	*PARABRAUNERDE aus Löss über Terra fusca (auf Trigonodusdolomit): polygenetisch, sauer (Profil WI 507, S.51)	skf	IU/IT-T	tg
1	*PARABRAUNERDE aus Löss: locker, diffus, z.T. kolluvial, sauer (Profil WI 504, S. 49)	skf	IU	stg
	BRAUNERDE aus Kolluvium (v.a. Löss): diffus	skf-ska	IU	stg-tg

Tab. 9: Auszug Legende Laufenburg (aus FAP, 1992b)

Anmerkung:

Auf Bodenkarten verschiedener Projekte treten immer wieder gleichlautende Kartencodes auf. Da bei der laufenden Nummer, unter der die verschiedenen Bodeneigenschaften zusammengefasst werden (vgl. Abb. 12,13), in jedem Projekt wieder bei **1** begonnen wird, haben aber gleiche Codes auf verschiedenen Karten **nicht die gleiche Bedeutung. Für jede Bodenkarte ist deshalb nur die dazugehörige Legende gültig.**

4.4 Kartenherstellung

4.4.1 Farbgebung

Thematische Karten sind nur gut lesbar, wenn sich die Anzahl der Signaturen resp. Farben in Grenzen hält (ca. 5 - 15).

Für Bodenkarten zum Zwecke der land- und forstwirtschaftlichen Interpretation hat sich eine nach **Wasserhaushalt und pflanzennutzbarer Gründigkeit** abgestufte Einfärbung bewährt. (vgl. Abb. 14 sowie 8.3). Eine Farbe auf der Karte entspricht also nicht einem bestimmten Bodentyp, sondern einer Gruppe von Böden mit ähnlichem Wasserhaushalt und ähnlicher Gründigkeit. So werden z.B. alle senkrecht durchwaschenen, tiefgründigen Böden, d.h. die für die Land- und Forstwirtschaft besonders wertvollen Böden, braun eingefärbt. Blau und grün zeigen die nassen Böden an. Somit wird die Karte auch ohne grosse Bodenkenntnisse gut benutzbar.

Zusammengesetzte Bodeneinheiten werden einheitlich nach dem dominanten Bodenwasserhaushalt eingefärbt.

Nicht kartierte Flächen erscheinen weiss (Siedlungsgebiete, Kiesgruben, Deponien, Sportanlagen usw.).

4.4.2 Konventionelle Kartenherstellung

Die technische Verarbeitung der Bodenkarte hängt davon ab, welche Unterlagen vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden (z.B. Fotopläne oder Grundbuch-Tochterpausen, resp. Heliokopien topographischer Karten).

Arbeitsablauf:

- Übertragen der Grenzen und Anschriften auf eine Tochterpause
- Reproduktion auf den gewünschten Massstab
- Anfügen der auf Transparentpapier geschriebenen Legende
- Einfärben der Heliographie
- Vervielfältigung der Karten

Für die systematische Kartierung 1:25'000 ist ein spezielles Verfahren nötig, da diese Bodenkarten gedruckt werden (vgl. Abb. 1).

4.4.3 EDV in der Bodenkartenherstellung

EDV kann bei der Verwaltung von Bodeneinheiten und bei der Legendenbildung eingesetzt werden (Textverarbeitung). Bei der Herstellung von Bodenkarten, resp. thematischen Karten können die Möglichkeiten der EDV besonders gut ausgenutzt werden.

Arbeitsablauf:

- Digitalisieren der Bodengrenzen ab bereinigter Feldkarte
- Eingabe der Daten zu allen kartierten Teilflächen sowie der Legende
- redaktionelles und zeichnerisches Bearbeiten am Bildschirm
- thematische Auswertungen der Bodeninformation (z.B. im Hinblick auf forstliche Eignung) mittels Auswertungsprogrammen sowie redaktionelle Bearbeitung der Auswertungskarten
- Zeichnen der thematischen Karten mittels Plotter auf topographische Unterlagen (Situation)
- Vervielfältigen der Karten mittels Plotter-Kopien (kleine Anzahl) oder Photographien resp. Druck nach Plotter-Original

Die verschiedenen Arbeitsschritte werden durch Softwarepakete unterstützt. Heute gibt es Programme, die den Aufbau und den Unterhalt von eigentlichen geographischen Informationssystemen (GIS) erlauben, worin geometrische und thematische Informationen optimal verknüpft sind.

Wesentliche Vorteile der EDV-gestützten Kartendarstellung in einem GIS sind das schnelle Herstellen von Auswertungen nach verschiedenen Kriterien sowie Überlagerungen mit anderen thematischen Karten, das Verändern des Kartenmassstabes, das Erstellen von Statistiken, aber auch das einfache Nachprüfen und Korrigieren von erfassten Informationen. Als Nachteil ist der grosse Zeitaufwand für die Informationserfassung zu nennen. Zudem sind für qualitativ gute Druckvorlagen sehr teure Ausgabegeräte nötig.

4.5 Auswertung von Bodenkarten

Die Bodenkarte ist eine **thematische Grundlagenkarte**, die je nach Fragestellung weiter ausgewertet wird. Vor allem bei Detailkartierungen werden oft Auswertungskarten erstellt.

Mögliche thematische Auswertungen:

- waldbauliche Eignung
- forstliche Bodenqualität (Bodenpunktzahl, Produktionsfähigkeit)
- landwirtschaftliche Nutzungseignung
- landwirtschaftliche Vorranggebiete, Fruchtfolgeflächen
- landwirtschaftliche Bodenqualität (Bodenpunktzahl, Fruchtbarkeitsstufe)
- Meliorationsvorschläge (Entwässerung)
- Bewässerungseignung
- Befahrbarkeit
- Verdichtungsgefährdung
- Risiko für Sicker- und Abschwemmverluste von Pflanzennährstoffen
- Erosionsgefährdung
- Geomorphologie (Muttermaterial)
- Bodenarten
- ökologische Ausgleichsflächen (und weitere Umweltschutzfragen)
- geologische Karten (zusammenfassende Darstellungen)

Wichtige Interessenkreise für Bodenkarten und deren Auswertungen sind somit die Land- und Forstwirtschaft, die Orts- und Regionalplanung, der Umweltschutz sowie Forschung und Lehre (BGS, 1988).

Über forstliche Interpretation und Auswertungsmöglichkeiten siehe Teil III.

Besonders interessiert an Auswertungskarten ist die Landwirtschaft (FREI, PEYER, 1991). Wichtig sind Interpretationen zur Nutzungseignung sowie zur Risikobeurteilung für Sicker- und Abschwemmverluste von Pflanzennährstoffen. Aktuell sind aber auch Auswertungskarten zur Erosionsgefährdung (DÄLLENBACH, KUHN, 1993; allg. MOSIMANN et al., 1991) oder zur Verdichtungsgefährdung (WEISSKOPF et al., 1988).

In der Raumplanung dient die Bodenkarte der Ausscheidung von ackerfähigem Kulturland, resp. Fruchtfolgeflächen.

Die Bodenkarte bildet auch eine der Hauptgrundlagen für zusammenfassende ökologische Fragestellungen, wie etwa bei Umweltverträglichkeitsprüfungen, beim Erstellen von Bodenschutzkonzepten oder Landschafts-Entwicklungskonzepten.

Die aufgeführten Auswertungsbeispiele verdeutlichen den zentralen Stellenwert einer Bodenkarte bei jeder Aufarbeitung (Erforschung vom "Landschaftsökosystem") von Raumeinheiten bezüglich ihres "Leistungsvermögens" (LESER, 1988).

Die Auswertung von Bodenkarten für thematische Karten oder Beurteilungen erfolgt zwar nach objektiven Kriterien, wegen der Komplexität der Prozesse im Boden und seiner Oberfläche bleibt dem Bearbeiter aber auch Interpretationsspielraum. Bei der Umsetzung von Bodenkarten sind deshalb gute Gebietskenntnisse unerlässlich.

Für einige Auswertungen braucht es keine eigene Kartendarstellung; so werden etwa bei Güterzusammenlegungen die Fruchtbarkeitsstufen und Bodenpunktzahlen direkt von den Feldkarten in die Bodenkarte übernommen oder der Beschreibung der Bodeneinheiten in der Legende beigelegt.

Je mehr Information in der Karte selbst enthalten ist, in Form von Signaturen und Codes resp. Abkürzungen, desto unübersichtlicher wird sie. Häufig bedingt auch die Kleinheit von Kartierteilflächen eine kurze Anschrift (Code). Bei der Farbwahl der thematischen Karte ist u.a. zu beachten, dass dunkle, intensive Farben eine Teilfläche hervorheben. Solche Farben werden also mit Vorteil in Flächen verwendet, die für das Thema besonders bedeutend sind.

Zur Auswertung von Bodenkarten resp. den daraus resultierenden thematischen Karten gehören auch **statistische Angaben**. Hier interessieren hauptsächlich die kartierten Flächenanteile von Böden mit bestimmten Eigenschaften resp. Kombinationen von mehreren Eigenschaften. Wichtig sind auch Zusatzinformationen über deren geographische Verteilung z.B. auf Gemeinden, Regionen, Kantone, Höhenstufen, Klimaeinheiten, Feld oder Wald.

Beispiele von flächenmässig interessierenden Eigenschaften der Bodeneinheiten:

- Wasserhaushalt
- Gründigkeit
- Geländeform
- Hangneigung
- Bodentypen
- Fruchtbarkeitsstufen
- Nutzungseignung

4.6 Erläuterungsbericht

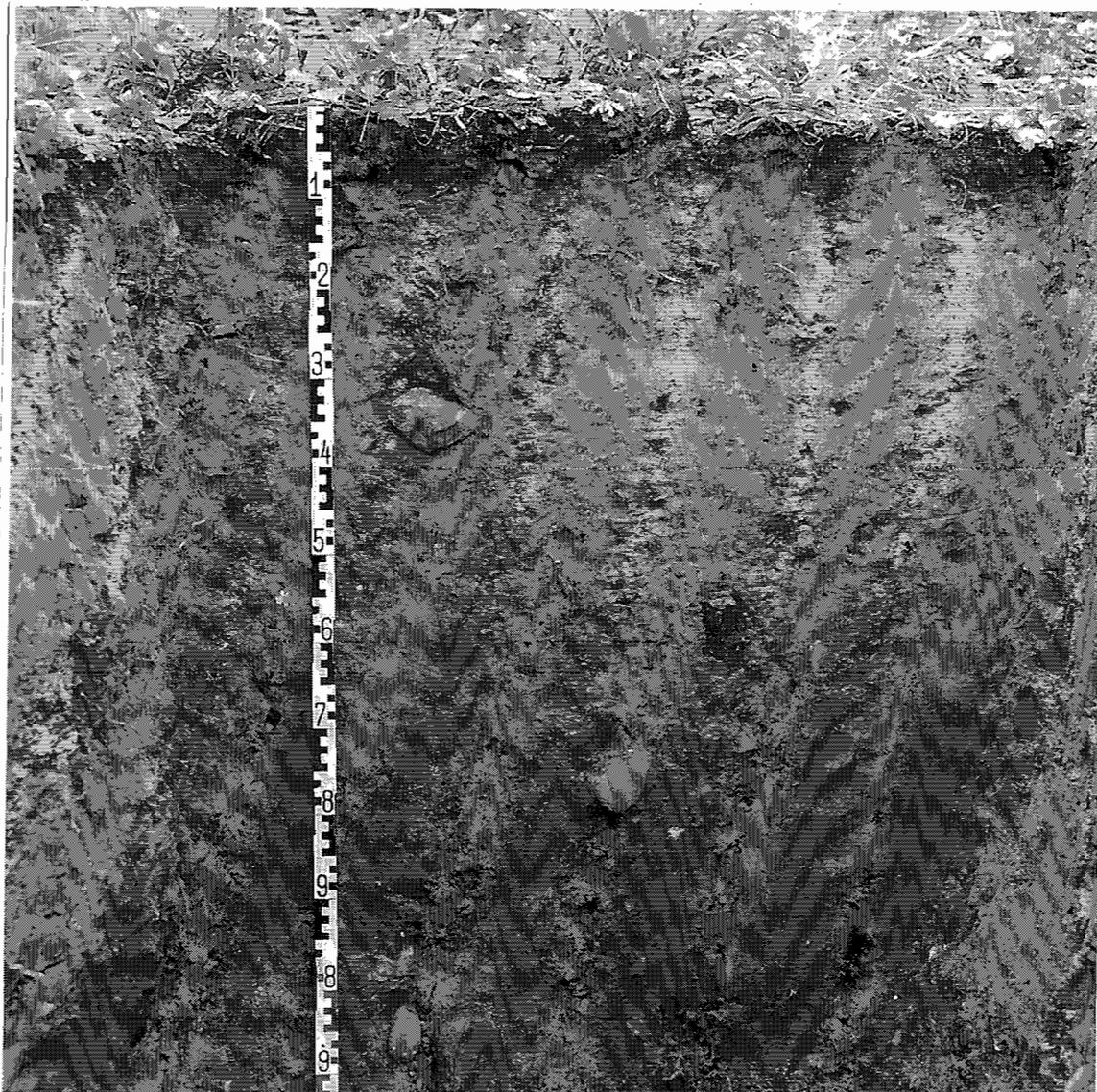
Karten und Legenden enthalten die wichtigsten Ergebnisse und Informationen. Für eine sachgerechte Benützung der Karten braucht es einen dazugehörigen Erläuterungsbericht. Der Bericht sollte etwa folgende Punkte enthalten:

- Inhaltsverzeichnis
- Zusammenfassung
- Auftrag
- Untersuchungsgebiet
- Kartiervorgang
- Böden, Bodenkarte
- Auswertungen (Vorgehen, Karten)
- Flächenstatistiken
- Folgerungen, Anwendungsmöglichkeiten
- Literatur
- Anhang (bodenkundliche Begriffe und Abkürzungen, ausführliche Legende etc.)

Bei der Bodenkarte 1:25'000 ist der Bericht immer dreigeteilt:

- gleichbleibender allgemeiner Teil
- blattspezifischer Teil
- ausführliche Legende

TEIL II UNTERSUCHUNGEN AM BODEN- PROFIL UND STANDORT





5 Bodenprofil und Profilblatt

Vor Beginn der flächendeckenden Kartierarbeit steht in der Regel die Profilaufnahme, d.h. die Erhebung des Bodeninventars mit Hilfe eines Formulars (vgl. 3.1). Im folgenden wird das "Profilblatt" der FAP vorgestellt sowie die einzelnen Aufnahmepunkte beschrieben.

5.1 Das Bodenprofil

Ein senkrechter Bodenaufschluss, der alle Bodenhorizonte ("Bodenschichten") bis und mit Muttermaterial zeigt, wird Bodenprofil genannt (Abb. 15). Bodenprofile dienen der detaillierten Aufnahme von Bodenmerkmalen sowie der Beurteilung des Bodens als Pflanzenstandort.

Die Aufgrabung sollte mindestens so tief sein, dass alle für den Aufbau des Bodens und seine Beurteilung als Pflanzenstandort wichtigen Horizonte untersucht werden können (Abb. 16). Wenn nötig kann der tiefere Untergrund durch Bohrungen in die Grubensohle erfasst werden. Die Breite der Grube sollte mindestens 60 cm betragen, um bequem darin arbeiten zu können. Die Länge variiert je nach Grubentiefe.

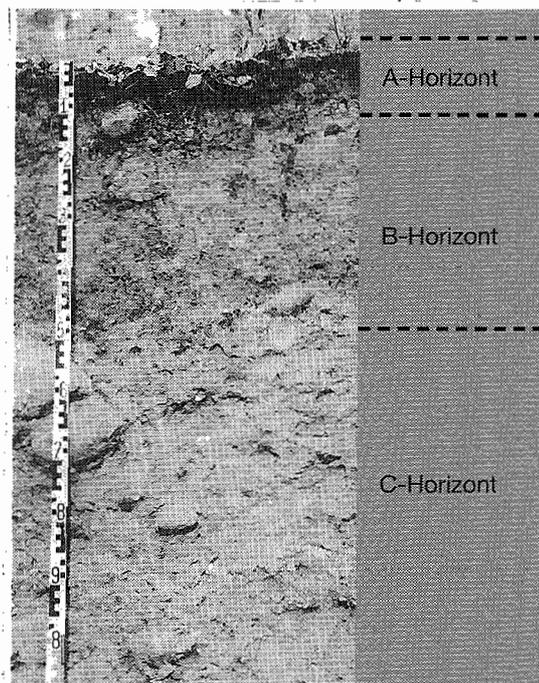


Abb. 15: Bodenprofil mit Bodenhorizonten

Die Deponie des Ober- und Unterbodens erfolgt getrennt, damit später wieder schichtgerecht zugedeckt werden kann. Die Partie über der senkrechten Stirnseite der Grube darf bei den Grabarbeiten nicht betreten werden und soll möglichst unberührt bleiben, um die Untersuchungen und Probenahmen nicht zu beeinträchtigen. Wo möglich, ist das Bodenprofil so zu exponieren, dass während der Untersuchung eine ausreichende Beleuchtung der Stirnwand gewährleistet ist. Am Hang wird die Grube in der Fallrichtung angelegt.

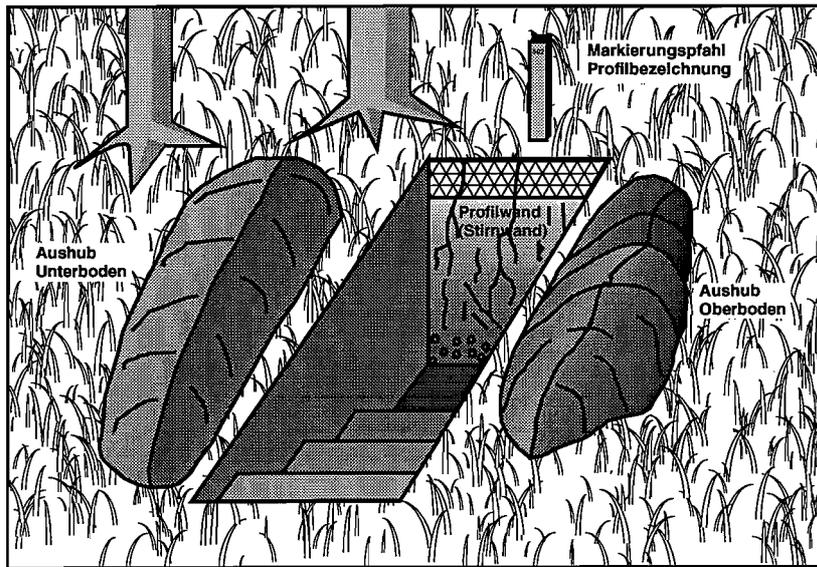


Abb. 16: Anlage der Profilgrube

5.2 Profilblatt und Profilbeschreibung

Zur Beschreibung der Bodenprofile dienen vorgedruckte Formulare. Ein solches Formular (Profilblatt) sollte mindestens folgende Datengruppen enthalten:

- Identifikation der Profilstelle und der Umgebungssituation (Standort)
- Profilskizze mit den auszuführenden Untersuchungen
- Beurteilung in pedologischer, pflanzenbaulicher und gegebenenfalls pflanzensoziologischer Hinsicht.

Als Vorlage kann das Profilblatt der FAP dienen (Abb. 17); es kann für Feld- und Waldprofile verwendet werden. Ein Codiersystem erlaubt die EDV-gerechte Speicherung der Resultate.

Bei der **Profilbeschreibung** wird zuerst die gesamte Profilwand begutachtet und optisch sichtbare Merkmale in der Profilskizze eingetragen (Streuauflage, Wurzeln, Wurmgänge, Steine, Vernässungsanzeichen etc.). Danach wird die Horizontierung festgelegt und horizontweise die verschiedenen Bodenmerkmale (Gefüge, organische Substanz, Feinerdekörnung etc.) beurteilt. Um die Merkmale besser ansprechen zu können hat es sich bewährt, aus jedem Horizont Bodenteile zu entnehmen und auf einem Brett in der entsprechenden Reihenfolge auszulegen.

Die Bodenbeurteilung basiert z.T. auf Schätzungen (Feinerdekörnung, org. Substanz) oder einfachen Messungen (pH-Wert). Auf dem Profilblatt sind diese "Feldresultate" einzutragen. Bei evtl. Probenahme werden die Schätzwerte durch die exakten, im Labor bestimmten Werte nachträglich ergänzt.

Bodenkartierung, Eidgenössische Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau (FAP), Reckenholz, 1984

Situation		Topographie / Geologie				Theldaten																							
		Delen-schlüssel		Profil-art	Pedologe	Datum		Profil-bezeichnung																					
		1	2	3	4	5	6	7																					
8		9				10		11																					
Polit.Gem. / Karton		Ort / Plataname				Gem. Nr.																							
12		Blatt-Nr. 1:25'000		Koordinaten		13		14																					
15		Kartierungs-code				16																							
Bemerkungen		Bodenbezeichnung				Bodentyp		17		18																			
		Untertyp		19		20		21		22																			
		Skalettgehalt		21 ^a		22		23		24																			
		Feinerdeformung		21 ^a		22		23		24																			
		Wasserhaushaltsgruppe / Pflanzennutzbare Gröndigkeit		cm		24		25		26																			
Neigung		25		%		Geländeform		26																					
Profilskizze																													
27		28		29/30		31/32		33/34		35/36		37/38		39/40		41 (43)		42		44/45		46/47		48 - 55		56			
Nr.		Tiefe		Bezeichnung		Profil-skizze		Gelöge		organ. Sub. %		Ton %		Schuff %		Sand %		Kies (0,2-5) Vol. %		Steine (>5cm) Vol. %		Kalk CaCO ₃ %		pH CaCl ₂		Farbe (Munsell)		Proben Bemerkungen	
		0																											
		10																											
		20																											
		30																											
		40																											
		50																											
		60																											
		70																											
		80																											
		90																											
		100																											
		120																											
		140																											
		160																											
		180																											
Profiltiefe		57																											
Standort				Bewertung / Eignung																									
Höhe ü. M. m		Exposition		Klima-eignungszone		Vegetation aktuell		Ausgangs-material		Landsch.-element		Nutzungs-gebiet		Stufe		Boden-punktzahl		Eignung		Eignungs-klasse									
58		59		60		61		62/63		64		65		73		74		75		76									
Nutzungsbeschränkungen / Meliorationen												Düngereinsatz																	
Krumenzustand				Limitierungen				Nutzungs-beschränkung				Meliorationen festgestellte				empfohlene		fest		flüssig									
66				67				68				69				70		71		72									
Wald												Prod.-fähigkeit																	
Humus-form		Bestand		Baumhöhe, m gesch.		Vorrat, m ³ /ha gesch.		Alter, J gesch.		Gesell-schaft		Geeignete Baumarten				Stufe		Punkte											
100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111							

Identifikation des Profilstandortes

Klassifikation

Untersuchungen am Profil

Angaben zum Standort (inkl. Bestand) und Eignungsbeurteilung

Abb. 17: Profilblatt der Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau (FAP), Reckenholz

Aus all den gemachten Untersuchungen kann der Boden klassiert werden (Bodentyp, Untertyp, Form, Lokalform).

Die Beurteilung als Pflanzenstandort (Eignung, Baumartenwahl) geschieht unter Berücksichtigung der festgestellten Limitierungen (inkl. Klima, Topographie etc.). Sofern nötig, wird der Boden am Schluss noch bewertet (Bodenpunktzahl).

Nachfolgend werden die verschiedenen Rubriken, die gemäss FAP-Profilblatt aufgeführt sind, beschrieben. Die Angaben zur Landwirtschaft werden im Rahmen dieser Publikation nicht erläutert.

5.3 Identifikation des Profilstandortes

Die Untersuchung und Klassierung grösserer Serien von Bodenprofilen erfordert ein System zur Bezeichnung und Identifikation der Profilstandorte. Dazu gehören Situations-skizze, Skizze für Topographie und Geologie sowie verschiedene allgemeine Daten (Abb. 18).

Situation		Topographie/Geologie		Titeldaten							
		Daten-schlüssel	Projekt-Nr.	Profil-art	Pedologe	Datum			Profil-bezeichnung		
		1	2	3	4	5			6	7	
		6	241	B	AR/TS	28	08	1987	WI	505	
		8 Polit.Gem. Oberhofen, AG								Gem. Nr. 4174	
		9 Kanton								10	
		Ort Buechhalden								11	
		12 Blatt-Nr. 1:25'000		1049	Koordinaten	13	651	350	267	840	
		Kartierungs-code		cK 3 12 -13 3						15	

Abb. 18: Beispiel Skizzen Situation, Topographie/Geologie sowie Titeldaten

5.3.1 Situation, Topographie/Geologie

Von jeder Profilstelle ist eine Situations-skizze oder eine Kopie der 1:25'000er Karte mit Profileintrag zu erstellen.

Die geologischen Verhältnisse werden zusammen mit einem Geländeschnitt als Skizze auf dem Profilblatt festgehalten. Dabei soll die Schnitt-richtung (Himmels-richtung) angegeben werden.

5.3.2 Allgemeine Daten

Unter den sog. "Titeldaten" werden u.a. folgende Angaben gemacht:

- Datenschlüssel:** Da das Profilblatt periodisch überarbeitet wird, wird unter dieser Rubrik die Nummer der entsprechenden Auflage des Profilblattes angegeben; gegenwärtig Nr. 6 (= 6. überarbeitete Auflage).
- Profilart:** Ein Profilblatt kann grundsätzlich auch für die Beschreibung von Aufschlüssen an Böschungen, Kiesgruben oder von Bohrkernen die mittels Bohrfahrzeug oder von Hand entnommen werden, verwendet werden.

P Profil	H Handbohrer
B Böschung, Kiesgrube	U Pürckhauer
C Bohrfahrzeug	X andere

- **Pedologe:** Name (Kürzel) des Sachbearbeiters

- **Profilbezeichnung:** Jedes Profil wird mit einem Regionalcode sowie mit einer Nummer gekennzeichnet
 - **Regionalcode (Sigle):** Die verschiedenen Gemeinden der Schweiz sind zu Regionen zusammengefasst. Jede Region ist mit einem Code zu zwei Buchstaben bezeichnet (z.B. Gossau, Andwil, Waldkirch, Gaiserwald = Go).
 - **Profilnummer:** Innerhalb jeder Region werden die Profile fortlaufend numeriert, wobei zwischen Feld- und Waldprofilen unterschieden wird. Für Feldprofile beginnt man bei 1 (z.B. Go1, Go2 etc.), für Waldprofile bei 500 (z.B. Go 500, Go 501 etc.).

- **Kartierungscode:** Hier wird der Code derjenigen Kartierungseinheit angegeben, in welcher das Profil liegt (vgl. 3.2.1).

6 Untersuchungen am Profil (Profilskizze)

Dieses Kapitel beinhaltet die theoretischen Grundlagen für die Beschreibung eines Bodenprofils. Sie stützen sich im wesentlichen auf die "Klassifikation der Böden der Schweiz" (FAP, 1992a).

Profilskizze														
27	28	29/30		31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41 (43)	42	44/45	46/47	48 - 55	56
Horizont			Profilskizze	Gefüge	organ. Sub. %	Ton %	Schluff %	Sand %	Kies (0.2-5) Vol. %	Steine (>5cm) Vol. %	Kalk CaCO ₂ %	pH CaCl ₂	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr.	Tiefe	Bezeichnung												
		Oi 0												
1	0	Ah 10		KR2-PO3	9	40	44	16	10	25	+	6,7	10YR 2/2	a
2	20	(A) B 40		KR2-PO3	3	18	52	30	10	30	++	7,2	7,5YR 4/4	b
3	70	Ck 90				12	55	33		80	+++	7,5	2,5Y 5/3	
		120												
		140												
		160												
		180												
		Profiltiefe												
		57												
		120												

Abb. 19: Beispiel Profilbeschreibung (Feldresultate)

6.1 Bodenhorizonte

Bodenhorizonte sind annähernd parallel zur Bodenoberfläche verlaufende, optisch unterscheidbare Zonen, welche durch die Bodenbildung (Verwitterung, Humusbildung, Stoffverlagerung, Gefügebildung etc.) voneinander differenziert worden sind.

Auf dem Profilblatt wird jeder Horizont mit einer Nummer, einer Tiefenangabe sowie mit Horizontsymbolen versehen.

6.1.1 Horizontnummer, Horizonttiefe und Horizontbegrenzung

Die Bodenhorizonte werden mit Ausnahme der einjährigen Streuauflage von oben nach unten numeriert.

Ebenso ist die Horizonttiefe resp. Horizontobergrenze anzugeben. Die Bodenoberfläche beginnt unterhalb der einjährigen Streu; sie kann aber auch mit dem ersten mineralischen Horizont definiert werden (vgl. 7.2, Abb. 27).

Bei der Begrenzung der Bodenhorizonte werden deren Deutlichkeit sowie Verlauf angegeben (vgl. 6.2, Abb. 20).

- scharf: klarer Übergang innerhalb 3 cm
- deutlich: klarer Übergang innerhalb 5 cm
- diffus: undeutlicher Übergang > 5 cm

6.1.2 Symbole der Haupthorizonte

Die Haupthorizonte werden mit Grossbuchstaben bezeichnet.

O	Organischer Auflagehorizont mit mehr als 30% organischer Substanz
T	Torfhorizont mit mehr als 30% organischer Substanz, anaerob unter Grund- oder Stauwassereinfluss gebildet
A	Oberbodenhorizont mit weniger als 30% organischer Substanz in der Feinerde
E	Eluvial- oder Auswaschungshorizont; Substanzverarmung z.B. durch geringeren Tongehalt oder starke Ausbleichungen erkennbar; als letzter Auswaschungsrückstand verbleibt oft Quarzsand
I	Illuvial- oder Einwaschungshorizont; Anreicherung von Substanzen aus dem darüberliegenden E-Horizont; Illuviationen bilden Umhüllungen, Tapeten, Konkretionen, Krusten, Kolloidkonzentrationen oder Kristalle; dadurch oft intensiver oder dunkler Farbton
B	Unterbodenhorizont, unter dem A-Horizont gelegen; enthält Sekundärminerale, hat ein entwickeltes Bodengefüge und ist biologisch aktiv; in der Regel mit Pflanzenwurzeln; verglichen mit dem A-Horizont, geringer Humusgehalt
C	Untergrund (Ausgangsmaterial), meistens unter einem A- oder B-Horizont; Verwitterungsmerkmale können vorhanden sein; nicht aggregiert und biologisch nicht oder extrem schwach aktiv; nicht oder sehr spärlich durchwurzelt
R	Harte Felsunterlage

6.1.3 Ergänzende Horizontsymbole

()	sehr schwach entwickelter Horizont; z.B. (A) = humusarmer Oberboden eines Gesteinsbodens
[]	nur stellenweise vorhandener Horizont; z.B. Einschlüsse von A-Horizontmaterial in einem tiefer gelegenen Horizont oder in einer Gesteinskluft
1,2,3	in besonderen Fällen zur weiteren Unterteilung von Unterhorizonten; z.B. zur weiteren Gliederung von Auflagehumus (0l1, 0l2; 0f1, 0f2; Tf1, Tf2, etc.); bei Mineralerdehorizonten nur ausnahmsweise anwenden (evtl. Bw1, Bw2)
II, III	geologischer Schichtenwechsel im Profil; z.B. Ah-Horizont aus Löss über II Bw-Horizont aus Schotter, darunter III C-Horizont einer Moräne
AB, BC	Übergangshorizonte, weisen Merkmale von zwei oder mehreren Horizonten auf
A/E, B/C	Komplexhorizonte; Einschlüsse des einen im anderen Horizont

6.1.4 Symbole zur Unterteilung der Haupthorizonte

Die folgenden Kleinbuchstaben dienen der genaueren Unterteilung resp. Umschreibung der Haupthorizonte; sie werden den Grossbuchstaben nachgestellt. Häufige Anwendungen von Symbolkombinationen werden erwähnt.

	Zustand der organischen Substanz
l	Streuzone (Litter); geringer Zersetzungsgrad der Pflanzenreste (über 90% unverändert); lose oder verfilzte Struktur; Ol-Horizonte vor allem im Wald verbreitet *)
f	Fermentationszone (Förna), Vermoderungszone; teilweise bis stark zersetzte organische Substanz (30 bis 90% erkennbare Pflanzenreste); Struktur faserig bis flockig, filzig, schwammig, teilweise körnig; häufige Kombinationen: Of, Tf *)

h	Humusstoffzone; sehr stark abgebaute organische Substanz (bis höchstens 30% erkennbare Pflanzenreste); Humifizierung fortgeschritten und weitgehend im Gleichgewicht; Struktur in Oh- und Th-Horizonten kolloid, schmierig bis körnig; Huminstoffe in Mineralerde-Ah-Horizonten vorwiegend an Tone und Metalle oder an Erdalkalien gebunden *)
a	anmooriger oder moorähnlicher hydromorpher Horizont mit 10 bis 30% organischer Substanz; meist krümelige bis körnige Struktur; Aa-Horizonte entstehen unter Grund- oder Stauwassereinfluss *) Die Subhorizonte Ol, Of und Oh werden z.T. auch als Haupthorizonte aufgeführt und mit den Symbolen L, F und H bezeichnet (RICHARD et al., 1978)
	Verwitterungszustand
ch	chemisch vollständig verwitterte Mineralerde; keine Gesteinsrelikte mehr vorhanden; der Gehalt an Primärmineralen beschränkt sich auf Quarz
w	verwittertes Muttergestein; wesentliche Mengen von Produkten der Verwitterung und Neubildungen liegen vor; an Tone gebundene oxidierte Eisenoxide verleihen dem Horizont eine gleichmässig braune Färbung (Bw); Kalziumkarbonat in der Feinerde nicht vorhanden
z	Zersatz des Muttergesteins; physikalische Aufteilung wiegt vor, chemische Verwitterung beschränkt sich auf die Gesteinsoberfläche; Cz in Gesteinsböden
	Relative mineralische Substanzanreicherungen
ife	erhöhter Eisenoxidgehalt; diffus oder in Krusten, Hüllen, Konzentrationen; Ife-Horizont in einem Podsol
ox	Oxidhorizont; Eisen- und Aluminiumoxide mehr oder weniger getrennt konzentriert, deshalb entsteht Marmorierung; meist poröses Gefüge
t	relativ tonreicher oder durch Tonanreicherung stark tonhülliger Horizont; It-Horizont einer Parabraunerde
q	Rückstandsanreicherung von Quarzen, z.B. im Eq-Horizont
	Gefügestand
m	massive, durch Kalk, Eisenoxide oder Kieselsäure verhärtete, zementierte Zone; z.B. Ife,m-Horizont (Ortsstein) oder Ik,m-Horizont (Kalkkruste)
p	gepflügter Oberboden, z.B. Ap- oder Ah,p-Horizont

st	strukturiert, mit ausgeprägter, stabiler Aggregation
vt	vertisolisch (pelosolisch); tonreiche Bodensubstanz bildet beim Austrocknen starke Risse, die auch organisches Material einschliessen können
x	kompakte, dichte, aber nicht zementierte Zone; z.B. Bx oder Bgg,x-Horizont
Zustand der Alkalien und Erdalkalien	
k	Kalkanreicherungshorizont; z.B. Ik-Horizont (Kalkflaumzone) oder Cz,k-Horizont (Kalksteinzersatz)
na	alkalireicher Horizont; adsorbiertes Na ⁺ übersteigt 15% der Kationenaustauschkapazität
sa	Anreicherung wasserlöslicher Salze; Isa-Horizont (Salzausblühungen)
Merkmale des Sauerstoffmangels (Redoxschwankungen)	
cn	punktförmige, schwärzliche Knötchen mit hohem Mangan- und Eisengehalt, deuten auf schwache Redoxschwankungen hin; z.B. Bw,cn-Horizont
(g)	schwache, oft nur partiell im Innern der Klumpen vorhandene Rostflecken
g	mässig rostfleckige, wechsellasse Zone im A-, B- oder C-Horizont; zahlreiche, meist kleine, gut verteilte Rostflecken, umfassen weniger als 3% Fläche des Anschnitts; Matrix zwischen den Flecken bräunlich
gg	Horizont mit starker Rostfleckung infolge periodischer Vernässung und Durchlüftung; zahlreiche, grosse Eisenoxidflecken, umfassen mehr als 3% Fläche des Anschnitts; Matrix zwischen den Flecken grau
r	dauernd stark reduzierte Zone, von grauer, graublauer oder schwarzer Färbung; beim Aufgraben wird Boden infolge Sauerstoffzutritts rostfleckig
Alte Bodenbildungen, frische Schüttungen	
b	begrabener Horizont; von quartärem Material überdeckt, das entweder unverwittert ist oder bereits eine Bodenbildung erfahren hat; z.B. Ob-, Ab-oder Bb-Horizont
fo	fossiler Horizont; stammt aus einer vorholozänen Zeit, mit anderen bodenbildenden Bedingungen; oft von einem jüngeren Boden oder mit Gesteinsmaterial überdeckt; Ah,fo-, oder Box,fo-Horizont
y	fremde Auflagerung, Überschichtung, z.B. durch Überflutung oder Aufschüttung

6.2 Profilskizze und Signaturen

Für die Klassifikation und Beurteilung des Bodens ist auch eine genaue Profilskizze wertvoll. In der Profilskizze können charakteristische Bodeneigenschaften durch Signaturen dargestellt werden (Abb. 20).

Horizontgrenzen		Org. Substanz Aerober Auflagehumus	
-----	diffus		lose Streu
- - - -	deutlich		lagige Streu
————	scharf		verfilzte Streu
	Klüfte		faserige OS
	Taschen		körnige oder flockige OS
====	Profilschluss		Huminstoffe
Bodenskelett		Organo-min. Substanz	
	frisch, unverwittert	//////	neutral
	verwittert	/x/x/x/	sauer
	karbonathaltig		
	karbonatfrei	Hydromorphe Humusauflagen	
	Holz		wenig zersetzter Torf
	Kohle		ziemlich zersetzter Torf
Karbonate			stark zersetzter Torf
	Kalkflaum	h Humushüllen	
	Kalktuff (Kindel)		
	Karbonatgrenze		
Hydromorphie		Illuviale	
	Konkretionen		Humine
	Rostflecken		Tonhüllen
	Marmorierung		Wurmtätigkeit
	Sesquioxidringe		Schnecken
	reduziert		Wurzeln
	Wasserstand (Datum)		Lockerung
W	Wasseraustritt		Verdichtung

Abb. 20: Häufige Signaturen (vollständige Signaturübersicht siehe FAP, 1992a)

6.3 Gefüge

Unter dem Gefüge des Bodens, auch Bodenstruktur genannt, versteht man die Anordnung der festen Bodenbestandteile und der Hohlräume dazwischen. Vom Gefüge sind Durchwurzelbarkeit sowie Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt abhängig.

6.3.1 Gefügeformen

Grundsätzlich wird zwischen unstrukturierten und strukturierten Gefügeformen unterschieden.

- **Unstrukturierte Gefügeformen (Grundgefüge)**

Bei den unstrukturierten Gefügeformen erfolgte noch keine Absonderung der Bodenteilchen zu Aggregaten.

Einzelkorngefüge (Ek): Die Bodenteilchen liegen lose nebeneinander. Einzelkorngefüge ist typisch für Sandböden.

Kohärentgefüge (Ko): Der Boden bildet eine ungegliederte zusammenhängende Masse. Kohärentgefüge findet man häufig im undurchlüfteten Untergrund von feinkörnigen Böden.

- **Strukturierte Gefügeformen (Aggregatgefüge)**

Bei den strukturierten Gefügeformen sind die einzelnen Bodenteilchen durch Bodenbildungsprozesse oder durch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge zu Aggregaten bestimmter Form und Grösse geordnet.

Krümelfgefüge (Kr): Krümel sind rundliche Aggregate mit meist hoher Porosität. Sie sind Anzeichen hoher biologischer Aktivität und treten vorwiegend im humushaltigen A-Horizont auf.

Subpolyederggefüge (Sp): Subpolyederggefüge wird aus stumpfkantigen Aggregaten mit unregelmässigen, meist rauhen Oberflächen gebildet. Die einzelnen Subpolyeder sind überwiegend porös. Subpolyederggefüge ist charakteristisch für sandige bis lehmige Böden.

Polyederggefüge (Po): Polyederggefüge besteht aus unterschiedlich porösen, scharfkantigen Aggregaten. Auf den Aggregatoberflächen sind gelegentlich Tonhäutchen vorhanden. Polyederggefüge tritt häufig in lehmigen bis tonigen Böden auf.

Prismengefüge (Pr): Prismen sind senkrecht im Boden stehende Aggregate. Sie entstehen durch Quellen und Schrumpfen des Bodens. Auf den Aggregatoberflächen sind oft Tonhäutchen vorhanden. Prismengefüge ist typisch für tonreiche Böden.

Plattengefüge (Pl): Plattengefüge besteht aus plattigen Bodenaggregaten mit meist rauhen, seltener glatten, horizontal liegenden Grenzflächen. Plattengefüge entsteht oft durch mechanische Verdichtung, z.B. in Pflugsohlen.

Aggregatgrössenklassen:	1:	Ø	<	2	mm
	2:	Ø	2 -	5	mm
	3:	Ø	5 -	20	mm
	4:	Ø	20 -	50	mm
	5:	Ø	50 -	100	mm
	6:	Ø	>	100	mm

6.3.2 Gefügeansprache

Durch das Zerteilen der aggregierten Bodenstücke entlang der natürlichen Trennflächen kann die vorherrschende Aggregatgrösse bestimmt werden. Gleichzeitig kann festgestellt werden, ob Überzüge oder Anlagerungen (Tonhäute, Kalkflaum etc.) vorhanden sind. Für die Gefügebeurteilung hat es sich bewährt, die aus jedem Horizont herausgelösten Bodenstücke auf ein Brett evtl. mit cm-Skala zu legen; dadurch können die Gefügeformen der einzelnen Horizonte besser miteinander verglichen werden.

6.4 Organische Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz kann aufgrund der Bodenfarbe geschätzt werden. Je dunkler die Farbe desto grösser ist der Gehalt an organischer Substanz (vgl. 6.9).

Gehalt an org. gebundenem Kohlenstoff (% org. C)	Gehalt an org. Substanz in der Feinerde (Gew.%)	Bezeichnung
< 1.2	< 2	humusarm
1.2 - 3.0	2 - 5	schwach humos
3.0 - 6.0	5 - 10	humos
6.0 - 12.0	10 - 20	humusreich
12.0 - 18.0	20 - 30	sehr humusreich
> 18.0	> 30	organisch

Tab. 10: Einteilung der Böden nach dem Humusgehalt [% org. Substanz = % org. gebundener Kohlenstoff (C) x 1.72]

6.5 Feinerde

Unter Feinerde versteht man die Gesamtheit der Bodenpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm. Sie setzt sich je nach Bodenhorizont aus Humus sowie der mineralischen Feinerde zusammen.

6.5.1 Feinerdefraktionen

Die mineralische Feinerde besteht aus den drei Hauptfraktionen Ton, Schluff und Sand. Sie können für spezielle Untersuchungen weiter unterteilt werden (Tab. 11).

Hauptfraktionen		Unterfraktionen	
Ton	< 0,002 mm	Feinton	< 0,0002 mm
		Gropton	0,0002 - 0,002 mm
Schluff	0,002 - 0,05 mm	Feinschluff	0,002 - 0,02 mm
		Grobschluff (Staub)	0,02 - 0,05 mm
Sand	0,05 - 2,0 mm	Feinsand	0,05 - 0,2 mm
		Mittelsand	0,2 - 0,5 mm
		Grobsand	0,5 - 2,0 mm

Tab. 11: Fraktionen der mineralischen Feinerde

6.5.2 Feinerdekörnung

Die Körnung beinhaltet das Verhältnis der Fraktionen Ton, Schluff und Sand innerhalb der **mineralischen Feinerde** (Ton + Schluff + Sand = 100%).

Je nachdem in welchem (gewichtsmässigen) Verhältnis diese drei Fraktionen zueinander stehen, ergeben sich verschiedene Feinerdekörnungsklassen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Durchlässigkeit, Bearbeitbarkeit, Nährstoffspeichervermögen etc. Insgesamt werden 13 Körnungsklassen unterschieden (Tab. 12; Abb. 21).

Code	Körnungsklasse	Abkürzung	Gew.% der mineralischen Feinerde	
			Ton	Schluff
1	Sand	S	< 5	< 15
2	schluffiger Sand	uS	< 5	} < 50
3	lehmgiger Sand	lS	5 - 10	
4	lehmreicher Sand	lrS	10 - 15	
5	sandiger Lehm	sL	15 - 20	
6	Lehm	L	20 - 30	
7	toniger Lehm	tL	30 - 40	
8	lehmiger Ton	lT	40 - 50	
9	Ton	T	> 50	
10	sandiger Schluff	sU	< 10	
11	Schluff	U	< 10	> 70
12	lehmiger Schluff	lU	10 - 30	> 50
13	toniger Schluff	tU	30 - 50	> 50

Tab. 12: Körnungsklassen

Die Körnungsklassen lassen sich auch in einem Dreiecks-Diagramm darstellen (Abb. 21).

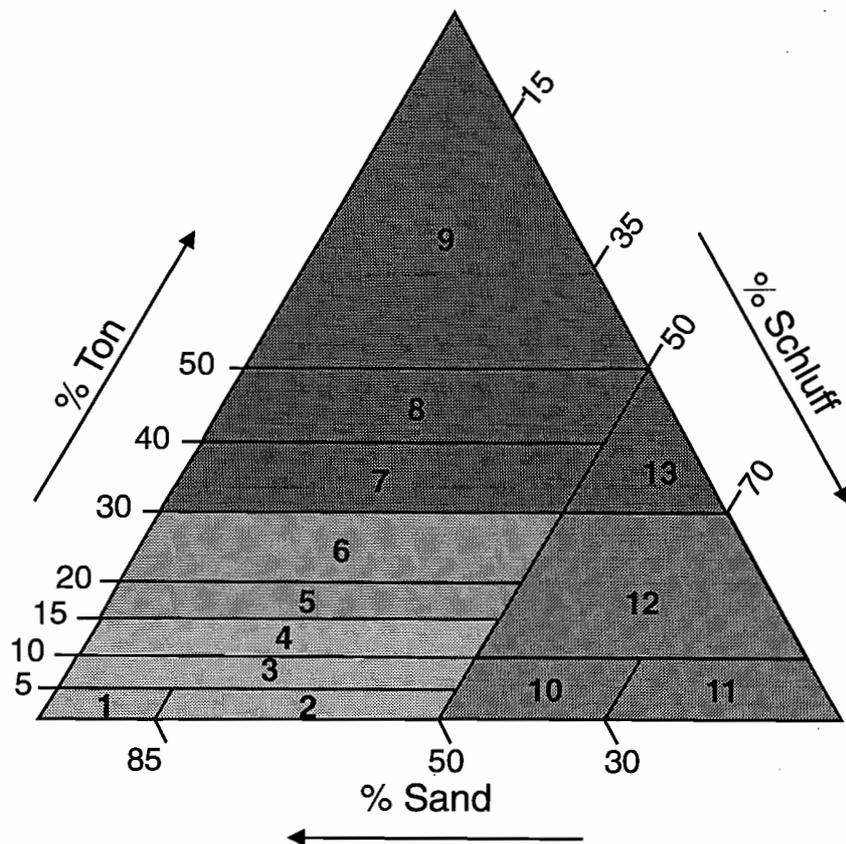


Abb. 21: Körnungsdiagramm

6.5.3 Bestimmung der Feinerdekörnung mit der Fühlprobe

Bei einiger Übung und Erfahrung kann mit der Fingerprobe (Fühlprobe) die Körnung relativ genau bestimmt werden. Dabei wird das Bodenmaterial zwischen Daumen und Zeigefinger zerrieben und geknetet. Körnigkeit, Bindigkeit und Formbarkeit können so gut beurteilt werden. Dabei sollte die Probe einen mittleren Feuchtigkeitsgrad aufweisen (trockene Proben anfeuchten). Die einzelnen Kornfraktionen weisen beim Reiben zwischen den Fingern folgende Eigenschaften auf:

- Ton: formbar, beschmutzend, klebrig, glatte und glänzende Gleitfläche
- Schluff: wenig formbar, mehlig, zerbröckelnd, nicht beschmutzend, rauhe Gleitfläche
- Sand: nicht formbar, nicht beschmutzend, körnig (Sandkörner fühlbar)

Je nach Ton-, Schluff- und Sandanteil vermischen sich diese Eigenschaften, wobei auch der Humusgehalt (z.B. im Ah-Horizont) zu berücksichtigen ist. In tonreichen Böden macht der Humus den Boden weniger bindig, in sandreichen bindiger.

Um eine gewisse Sicherheit in der Körnungsansprache zu erhalten, empfiehlt es sich, die Schätzungen laufend mit den Laborergebnissen zu vergleichen. Auch eine Eichreihe der gängigsten Körnungsklassen kann wertvolle Hilfe leisten.

6.6 Bodenskelett

Unter (Boden)skelett versteht man alle mineralischen Bodenbestandteile mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm. Dabei wird unterteilt in Fein- und Grobskelett mit den entsprechenden Fraktionen (Tab. 13).

Bezeichnung	Fraktion
Feinskelett	Feinkies 0,2 - 2 cm
	Grobkies 2 - 5 cm
Grobskelett	Kleine Steine 5 - 10 cm
	Grosse Steine 10 - 20 cm
	Kleine Blöcke 20 - 50 cm
	Grosse Blöcke > 50 cm

Tab. 13: Fraktionen des Bodenskelettes

Je nach Grösse und Mengenanteil des Bodenskelettes werden 10 verschiedene Skelettklassen gebildet (Tab. 14).

Code	Bezeichnung bei Skelettfractionierung	Abk.	Vol.%	Bezeichnung für Gesamtskelett	Abk.
0	skelettfrei, skelettarm	skf, ska	< 5	skelettfrei, skelettarm	skf, ska
1	schwach skeletthaltig	sskh	5 - 10	schwach skeletthaltig	sskh
2	kieshaltig ¹	kh	10 - 20	skeletthaltig	skh
3	steinhaltig	sh			
4	stark kieshaltig ¹	stkh	20 - 30	stark skeletthaltig	stskh
5	stark steinhaltig	stsh			
6	kiesreich ¹	kr	30 - 50	skelettreich	skr
7	steinreich	sr			
8	Kies ¹		> 50	extrem skelettreich	eskr
9	Geröll, Blöcke				

1 höchstens 1/3 Grobskelett

Tab. 14: Skelettklassen

Bei Waldkartierungen sowie bei der Bodenkartierung 1:25'000 werden in der Regel nur vier Skelettklassen unterschieden (Tab. 15).

Code	Bezeichnung	Vol.%
0	skelettfrei	0
1	skelettarm	< 10
2	skeletthaltig	10 - 30
3	skelettreich	> 30

Tab. 15: Skeletteinteilung bei Waldkartierungen

Wertvolle Hilfe bei der Schätzung des Skelettgehalts leisten entweder Fotos von Bodenprofilen oder Horizonten mit bekanntem Skelettanteil oder sog. Vergleichstafeln (Abb. 22).

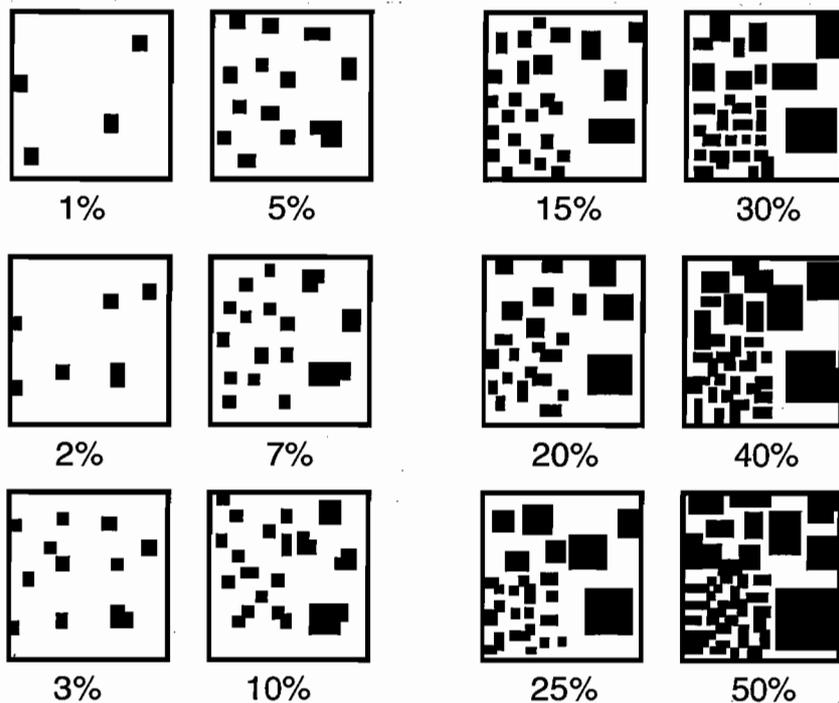


Abb. 22: Vergleichstafeln zur Schätzung von Flächenanteilen

6.7 Karbonatgehalt

Die Verteilung des Karbonatgehalts in den einzelnen Horizonten des Bodenprofils kennzeichnet den Entwicklungszustand des Bodens. Im Feld kann der Karbonatgehalt des Bodens mit verdünnter Salzsäure grob geschätzt werden (Tab. 16).

Code	Reaktion	Karbonatgehalt
0	keine Reaktion, auch kein leises Knistern (Feinerde + Skelett)	kein Karbonat vorhanden
1	Reaktion nur im Skelett	nur Skelett enthält Karbonat
2	nur vereinzelt schwaches Aufbrausen	Spuren von Karbonat vorhanden
3	schwaches Aufbrausen	Karbonatgehalt < 2%
4	mittleres Aufbrausen	Karbonatgehalt 2 - 10%
5	starkes, anhaltendes Aufbrausen	Karbonatgehalt > 10%

Tab. 16: Bestimmung des Karbonatgehaltes mit verdünnter Salzsäure

6.8 pH-Wert

Der pH-Wert (negativer Logarithmus der Wasserstoff-Ionen-Konzentration in der Bodenlösung) als Ausdruck der Bodenazidität beeinflusst in vielfältiger Weise die Eigenschaften und Vorgänge im Boden (Bodenentwicklung, Nährstoffverfügbarkeit etc.).

Bei Profilbeschreibungen im Gelände stehen tragbare pH-Messgeräte zur Verfügung. Mit Farbindikatoren, z.B. Hellige-pH-Meter, kann der Säuregrad annähernd ermittelt werden. Für den Säuregrad wird die Einteilung gemäss Tab. 17 verwendet, wobei aufgrund des pH-Wertes auch die ungefähre Basensättigung angegeben werden kann.

Bezeichnung	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	ungefähre Basensättigung %
stark alkalisch	> 8,2	> 8,2	100
alkalisch	7,7 - 8,2	7,7 - 8,2	100
schwach alkalisch	7,3 - 7,6	6,8 - 7,6	100
neutral	6,8 - 7,2	6,2 - 6,7	> 80
schwach sauer	5,9 - 6,7	5,1 - 6,1	51 - 80
sauer	5,3 - 5,8	4,3 - 5,0	15 - 50
stark sauer	3,9 - 5,2	3,3 - 4,3	< 15
sehr stark sauer	< 3,9	< 3,3	

Tab. 17: Bodenreaktion

6.9 Farbe

Die Farbe ist oft Ausdruck des Entwicklungsgrades eines Bodens und kann die Klassifikation wesentlich unterstützen. Ausserdem beeinflusst die Farbe des Obergrundhorizontes die Bodentemperatur.

Zur Farbbestimmung dienen Farbtafeln (MUNSELL-Standard Soil Color Charts). Die Farbe besteht aus den drei Komponenten Farbton, Grauwert und Farbintensität.

- **Farbton:** spektrale Zusammensetzung
 - 10 YR (orange-braunschwarz)
 - 7,5 R (rot)
 - 5 Y (gelb) (oliv)
- **Grauwert:** Höhe des Schwarz- und Weissanteils (9 Abstufungen) weist vor allem auf den Gehalt und die Humifizierung der org. Substanz hin
 - 1/. , 2/. dunkel (schwarz)
 - 7/. , 8/. hell
 - (9 weiss)
- **Farbintensität:** steht im Zusammenhang mit der Konzentration, dem Dispersitätsgrad und der Art des Farbstoffes (8 Abstufungen)
 - .1, .2 bleich
 - .7, .8 intensiv

Beispiel:	Ah-Horizont einer Braunerde:	10	YR	4/2
	It-Horizont einer Parabraunerde:	7,5	YR	5/6
	Cr-Horizont eines Fahlgleys:	5	Y	6/1

Die Farbe soll stets am feuchten Boden (ungefähr Feldkapazität) bestimmt werden. Bei stärkerer Bodentrockenheit ist die Probe anzufeuchten.

Treten mehrere Farben im gleichen Horizont auf (z.B. Gleyflecken), so wird zuerst die Farbe der Matrix bestimmt, sodann die der Einschlüsse und diejenige von Substanzkonzentrationen und Flecken.

6.10 Entnahme von Bodenproben

Oft werden die Aufnahmen am Profil mit chemischen, physikalischen oder mineralogischen Laboranalysen ergänzt. In solchen Fällen müssen Bodenproben entnommen werden. Je nach Untersuchung werden Sackproben (Proben mit gestörtem Gefüge) oder Zylinderproben (Proben mit ungestörtem Gefüge) entnommen. Wichtig ist, dass die Proben jeweils den ganzen Horizont repräsentieren. Auf dem Profilblatt werden Horizonte, die beprobt werden, mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet (von oben nach unten).

Sackproben

Sackproben werden entnommen zur Bestimmung von pH-Wert, Humusgehalt, Feinerdekörnung, Kationenumtauschkapazität (KUK) etc.. Aus dem Zentrum jedes Horizontes, der frisch abgestochen wurde, entnimmt man einige Teilproben Feinerdematerial und füllt sie in einen Probesack. Der Probesack wird mit der Profilbezeichnung (Regionalcode, Profilnummer) der Horizontbezeichnung sowie der Horizontobergrenze beschriftet (z.B. Mi 92b 20cm). Für eine komplette Laboruntersuchung genügt etwa ein Kilogramm Feinerde. Die Probenahme beginnt im allgemeinen am untersten Horizont.

Zylinderproben

Zylinderproben werden entnommen zur Bestimmung des Wasserhaltevermögens, des Porenvolumens, des Raumgewichts und des k-Wertes (Wasserdurchlässigkeit). Geeignet sind Zylinder aus rostfreiem Metall und gut schliessenden aufsteckbaren Deckeln. Der Zylinder passt in eine Schneidhülse, mit der er lotrecht in den Bodenhorizont gepresst wird. Auch mit dem Bohrfahrzeug können Zylinderproben entnommen werden. Da die Resultate später auf das Volumen des Zylinders bezogen werden, ist eine **sehr sorgfältige Probenahme** nötig. In der Regel werden mindestens 5 Zylinderproben pro Horizont benötigt (3 zur k-Wert-Bestimmung, 2 zur Bestimmung der Porenverteilung).

7 Angaben zum Standort und Bestand

Um die Eignung des Bodens zu beurteilen, sind zusätzlich verschiedene Angaben zum Standort notwendig. Bei Waldprofilen sind u.a. Humusform, Bestandesstruktur, Entwicklungsstufe zu beurteilen; ebenso kann die Waldgesellschaft angegeben werden (ELLENBERG, KLÖTZLI, 1972). Diese speziellen Angaben zum betreffenden Waldbestand runden die Standortübersicht ab und erlauben die Bestimmung geeigneter Baumarten sowie der Produktionsfähigkeit (vgl. 7.3).

Standort							Bewertung/ Eignung				
Höhe ü. M. m	Exposition	Klima-eignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landsch. element		Nutzungs-gebiet	Stufe	Boden-punktzahl	Eignung	Eignungs-klasse
58	59	60	61	62/63	64	65		73	74	75	76
475	N	B3	WA	HS,KS	HY	0	<i>L a n d w i r t s c h a f t</i>				
Nutzungsbeschränkungen/Mellorationen											
Krumenzustand		Limitierungen		Nutzungs-beschränkung		Mellorationen festgestellte		Mellorationen empfohlene		Düngereinsatz fest	
66		67		68		69		70		71	
<i>L a n d w i r t s c h a f t</i>											
Wald											
Humus-form	Bestand		Baumhöhe, m gesch.		Vorrat, m ³ /ha gem.		Alter, J gesch.		Gesell-schaft	Geeignete Baumarten	
100	101		102	103	104	105	106	107	108	109	
Mt	^a 134	^b 2		32		350		90	9	Bu, TEi, BAh, Ki, Es, (Fö, Lä)	
										110	111
										3	76

Abb. 23: Beispiel Standort- und Bestandesangaben

7.1 Allgemeine Standortdaten

7.1.1 Höhe und Exposition

Die Höhe über Meer ist in ganzen Metern anzugeben. Für die Bezeichnung der Exposition werden die internationalen Abkürzungen gebraucht. Es werden acht Expositionen unterschieden: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW (Ø = keine Exposition).

7.1.2 Klima

Die beiden wichtigsten Klimafaktoren sind Niederschlag und Temperatur. Sie wirken sowohl direkt als auch indirekt über die Beeinflussung der Vegetation auf die Bodenentwicklung.

Um das Klima zu charakterisieren, wird die Klimazone gemäss Klimaeignungskarte der Schweiz, 1:200'000 (EJPD, 1977a) angegeben, in welcher das Profil liegt. Die Einteilung der einzelnen Zonen geschieht nach Niederschlagshaushalt (Zahl) und Vegetationsperiode (Buchstabe); wobei die Dauer der Vegetationsperiode ungefähr mit dem Wärmehaushalt gemäss Wärmegliederung der Schweiz, 1:200'000 (EJPD, 1977b), übereinstimmt (Abb. 24).

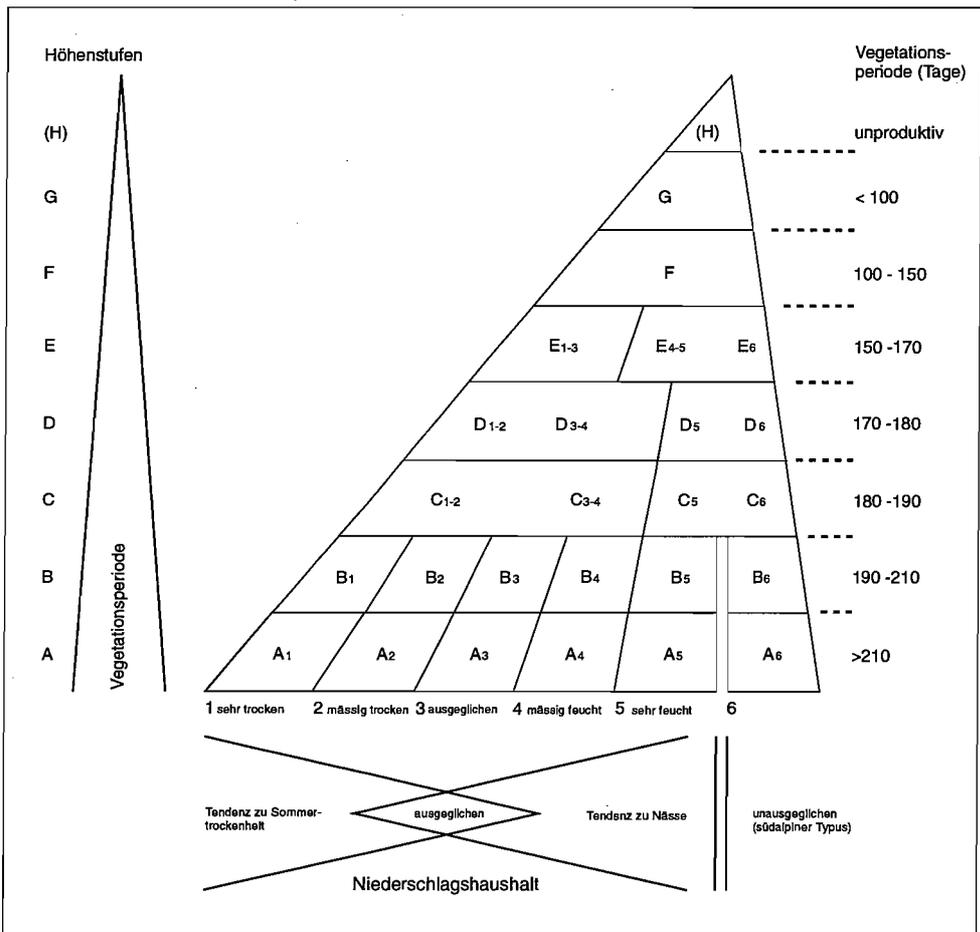


Abb. 24: Aufbau der Klimaeignungskarte 1:200'000

7.1.3 Nutzung, Vegetation

Aufgenommen wird die aktuelle Landnutzung bzw. Vegetation zum Zeitpunkt der Profilaufnahme.

Code	Aktuelle Vegetation
AK	Acker offen
KW	Kunstwiese
WI	Dauerwiese
WE	Dauerweide
BG	Baumgarten
SO	Intensivobstanlage
SG	Gemüse, Garten
SB	Beeren
SR	Reben
BK	Krautvegetation
BS	Strauchvegetation
WA	Wald
SL	Streueland
RI	Riedland
MO	Moorvegetation
UW	Grasland (Urwiese)
OL	anthropogenes Oedland
XX	andere

Tab. 18: Vegetationsformen

7.1.4 Ausgangsmaterial

Unter Ausgangsmaterial, auch Muttermaterial oder Substrat genannt, versteht man dasjenige Material aus dem sich der Boden entwickelt hat. Das Ausgangsmaterial beeinflusst viele Bodeneigenschaften wie Körnung, Gefüge, Porosität oder Bodenreaktion. Das Ausgangsmaterial lässt sich durch sorgfältige Untersuchungen am Bodenprofil (Gesteinsrelikte, Körnung, org. Substanz) ermitteln. Dabei sind geologische Karten wichtige Hilfsmittel.

Code	Ausgangsmaterial		
TO	Torf	MG	Grundmoräne
TU	Tuff	ME	Mergel
SK	Seekreide	TN	Ton
SA	Sand	TS	Tonschiefer
LO	Löss	SS	Sandstein
HS	Hangschutt (Bergsturz)	KG	Konglomerat
AL	Alluvionen	KS	Kalkstein
KO	Kolluvionen	DO	Dolomitgestein
HL	Hanglehm	RW	Rauhwacke
SL	Seebodenlehm	GR	Granit
SC	Schotter	GN	Gneis
MS	schottrige Moräne	SF	Schiefer
MO	Moräne		

Tab. 19: Ausgangsmaterialien

7.1.5 Landschaftselement

Das Relief als Bodenbildungsfaktor beeinflusst die Bodenentwicklung entscheidend. Vom Relief abhängig sind einerseits der Wasserhaushalt (Oberflächenabfluss, Lage zum Grundwasser) andererseits auch Erosions- und Akkumulationsprozesse.

Um das Grobrelief zu charakterisieren wird das Landschaftselement, in welchem das Profil liegt, angegeben (Abb. 25). Zudem wird festgehalten, ob es sich um eine Konvex (Verlust)-Lage, eine Konkav (Gewinn)-Lage oder um eine ausgeglichene Lage handelt.

Code, Landschaftselement	Beschreibung	Skizze
EE Ebene,	ausgedehnte, ebene Niederung	
TM Talmulde	muldenförmiger, tiefgelegener Teil des Tales	
TS Talsohle	relativ breiter, ebener, tiefstgelegener Teil des Tales	
TC Tälchen	kleines Tal mit engem Querprofil	
TT Talterrasse	Geländestufe an der Talflanke	
HT Hangterrasse	Geländestufe am Hang	
HF Hangfuss	auslaufender unterer Hangteil	
KR Kuppe, Rücken, Wall	konvexe Lage, ovale oder längliche Erhebung	
HM Hangmulde	muldenförmige Eintiefung am Hang	
HP Hangrippe	markante längliche Erhebung am Hang	
HH Flachhang	5-25% Gefälle	
HX Starkhang	25-50% Gefälle	
HY Steilhang	50-75% Gefälle	
HZ extremer Steilhang	> 75% Gefälle	
SF Schwemmfächer	am Hangfuss durch Fließgewässer abgelagerte Sedimente	
SK Schuttkegel	kegelförmige Schuttablagerung am Hang	
HR Rutschhang	ausgesprochene Rutschformen, wellig bis hügelig	
PF Plateau	allseitig abfallende, erhöhte Fläche von grösserer Ausdehnung	

Abb. 25: Landschaftselemente

7.2 Humusform

Vom Aufbau und Zustand des Humuskörpers ist die Verjüngungsdynamik abhängig (Nährstoffumsetzung, oberflächennaher Wasserhaushalt). Die Beurteilung des Humuskörpers ist deshalb bei der **waldbaulichen Entschlussfassung** (Baumartenwahl, bodenpflegende Massnahmen) von grosser Bedeutung (LÜSCHER, 1991).

Der Humuskörper lässt sich in Horizonte gliedern, die den unterschiedlichen Zustand (Abbaugrad) der organischen Substanz darstellen. Aufgrund der Horizontenfolge und der Horizontausprägung werden fünf Haupthumusformen unterschieden (Abb. 26).

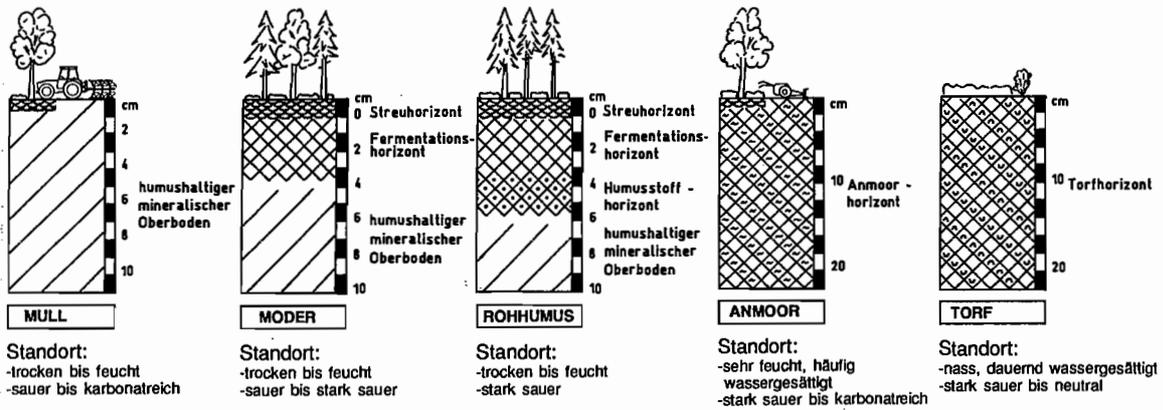


Abb. 26 : Haupthumusformen

Die typischen Waldhumusformen Mull, Moder und Rohhumus können weiter unterteilt werden. Dazu ist eine genaue Ansprache und evtl. verfeinerte Unterteilung der Humushorizonte notwendig (Abb. 27).

Horizont	Anteil		Schematischer Profilaufbau
	Oberirdische Pflanzenreste	Organische Feinsubstanz	
Oi (litter)	>90%	max. 10%	<p>Schematischer Profilaufbau</p> <p>Auflagehorizonte</p> <p>60 mm</p> <p>50 mm</p> <p>40 mm</p> <p>30 mm</p> <p>20 mm</p> <p>10 mm</p> <p>0 mm</p> <p>10 mm</p> <p>20 mm</p> <p>30 mm</p> <p>Oberfläche</p> <p>Vermischungshorizonte</p> <p>Ahh</p> <p>Ah</p>
Of (Fermentation)	30 - 90%	10 - 70%	
Oh (Humusstoff)	max. 30%	>70%	
Subhorizonte			
Oi1 (neu)	unverändert	max. 10%	
Oi2 (verändert)	verändert		
Of1 (Rest)	70 - 90%	10 - 30%	
Of2 (mittel)	30 - 70%	30 - 70%	
Oh1 (Rest)	10 - 30%	70 - 90%	
Oh2 (fein)	max. 10%	über 90%	

Abb. 27: Definitionen der Humushorizonte und schematischer Profilaufbau (BABEL, 1971; LÜSCHER, 1991)

7.2.1 Klassierung der Humusformen

Mull

Biologisch aktive Humusform mit besonders vielen Regenwürmern. Die Streu wird rasch, meist innerhalb eines Jahres, abgebaut. Ein Fermentationshorizont kann ansatzweise vorhanden sein.

- Typischer Mull
Horizontfolge: Ol - Ah
Rege biologische Tätigkeit mit Streuabbau innerhalb eines Jahres. Der Ah-Horizont ist über 8 cm mächtig und weist meist ein stabiles Krümelgefüge auf.
- Moderartiger Mull
Horizontfolge: Ol - Of - Ah
Zwischen dem Streuhorizont und dem Ah-Horizont liegt ein bis zu 2 cm mächtiger Fermentationshorizont. Die Mächtigkeit des Ah-Horizontes ist im Vergleich zum typischen Mull geringer (< 10 cm). Der Ah-Horizont ist meist nicht deutlich nach unten abgegrenzt.

Moder

Wird charakterisiert durch den Fermentationshorizont. Ein Humusstoffhorizont ist mindestens ansatzweise vorhanden. Die Bodenreaktion ist meist sauer bis stark sauer. Die biologische Aktivität ist geringer als im Mull. Die Streuzersetzung erfolgt langsam und es können verlagerungsfähige Huminstoffe gebildet werden.

- Mullartiger Moder
Horizontfolge: Ol - Of - (Oh) - Ah
Der Humusstoffhorizont ist nur sehr schwach ausgeprägt (< 0,5 cm) und ohne scharfen Übergang zum Ah-Horizont. Der Ah-Horizont ist meist zwischen 4 und 8 cm mächtig.
- Typischer Moder
Horizontfolge: Ol - Of - Oh - Ah
Im Gegensatz zum mullartigen Moder ist der Humusstoffhorizont deutlicher vorhanden. Aufgrund seiner Mächtigkeit kann zwischen feinhumusarm (Oh < 1,5 cm) und feinhumusreich (Oh 1,5 - 4 cm) unterschieden werden. Der Ah-Horizont ist meist weniger als 5 cm mächtig. Die einzelnen Horizonte gehen meist unscharf ineinander über.
- Rohhumusartiger Moder
Horizontfolge: Ol - Of - Oh - Ah
Die einzelnen Horizonte werden kaum noch durchmischt und sind deshalb scharf gegeneinander abgegrenzt. Der Oh-Horizont ist oft bis 5 cm mächtig. Der Ah-Horizont ist oft schon etwas gebleicht.

Rohhumus

Im Rohhumus fehlen bodenwühlende Lebewesen gänzlich. Die einzelnen Horizonte sind deutlich geschichtet und zeigen scharfe Übergänge. Die Bodenreaktion ist meist stark sauer. Huminstoffe werden mit dem Sickerwasser nach unten verlagert. Der mineralische Oberboden ist meist stark ausgewaschen (Auswaschungshorizont).

- **Typischer Rohhumus**

Horizontfolge Ol - Of - Oh - (Ah) - EAh

Aufgrund der Mächtigkeit des Oh-Horizontes kann zwischen feinhumusarm (Oh < 4 cm) und feinhumusreich (Oh > 4 cm) unterschieden werden. Der Ah-Horizont ist geringmächtig und meist gebleicht (→ EAh).

Anmerkung:

Unter vorwiegend feuchten Bedingungen (kurzzeitiger Einfluss von Hang-, Grund- oder Stauwasser) entstehen **Feucht-Mull**, **Feucht-Moder** oder **Feucht-Rohhumus**.

Genauere Einteilung wie oben.

Anmoor

Horizontfolge: Ol - Aa

Der Abbau der organischen Substanz ist durch zeitweiligen Luftmangel verlangsamt. Der Aa-Horizont kann sehr mächtig werden (bis 40 cm).

Torf

Horizontfolge: OT - T

Unter anaeroben Bedingungen wird wenig bis nicht zersetzte organische Substanz angereichert.

Code	Humusformen		
	<i>Mull (M)</i>		<i>Rohhumus (L)</i>
Mt	Mull, typisch,	La	Rohhumus, typisch, feinhumusarm
Mf	Mull, moderartig	Lr	Rohhumus, typisch, feinhumusreich
MHt	Feucht-Mull, typisch	LHa	Feucht-Rohhumus, typisch, feinhumusarm
MHf	Feucht-Mull, moderartig	Lhr	Feucht-Rohhumus, typisch, feinhumusreich
	<i>Moder (F)</i>	A	<i>Anmoor</i>
Fm	Moder, mullartig	T	<i>Torf</i>
Fa	Moder, typisch, feinhumusarm		
Fr	Moder, typisch, feinhumusreich		
Fi	Moder, rohhumusartig		
FHm	Feucht-Moder, mullartig		
FHa	Feucht-Moder, typisch, feinhumusarm		
FHr	Feucht-Moder, typisch, feinhumusreich		
FHi	Feucht-Moder, rohhumusartig		

Tab. 20: Einteilung der Humusformen

7.3 Bestandesdaten, Baumarten, Produktionsfähigkeit

Bestand

- Bestandestyp

Waldformen, Bestandesstruktur

- 100 schlagweiser Hochwald; 1-schichtig
- 200 schlagweiser Hochwald; mehrschichtig
- 300 Plenterwald oder andere stufige Bestände
- 400 (ehemaliger) Niederwald
- 500 (ehemaliger) Mittelwald
- 600 spez. Waldtypen: Gebüschwald, aufgelöste Bestockungen, Kleingehölz

Entwicklungsstufe

- .10 Jungwuchs / Dichtung (d_{dom} bis 10 cm)
- .20 Stangenholz (d_{dom} 10 - 30 cm)
- .30 schwaches und mittleres Baumholz (d_{dom} 30 - 50 cm)
- .40 starkes Baumholz (d_{dom} >50 cm)
- .50 gemischt

Mischungsgrad

..1	91 - 100 %	Nadelholz	=	Nadelholz rein
..2	51 - 90 %	Nadelholz	=	Nadelholz gemischt
..3	11 - 50 %	Nadelholz	=	Laubholz gemischt
..4	0 - 10 %	Nadelholz	=	Laubholz rein

• **Schlussgrad**

- 1 gedrängt
- 2 normal-locker
- 3 räumig-aufgelöst
- 4 gedrängt / normal gruppiert
- 5 Stufenschluss

Baumhöhe

gemessene Höhe der (100) stärksten Bäume (Stichprobe) oder geschätzte Höhe in m

Vorrat

gemessener resp. geschätzter Vorrat in m³/ha

Alter

gemessenes resp. geschätztes Alter in Jahren

Gesellschaft

Angegeben wird die Nummer (1-71) der Waldgesellschaft (ELLENBERG, KLÖTZLI, 1972)

Geeignete Baumarten

Aufzählung geeigneter Baumarten-Kombinationen mittels offizieller Abkürzungen (z.B. Es, BAh, Bu, Fi, Ta)

Produktionsfähigkeitsstufe und Bodenpunktzahl (vgl. 9.4.1 und 9.6.1)

Produktionsfähigkeitsstufe	Punkte
I ausgezeichnet	92 - 100
II sehr gut	80 - 91
III gut	60 - 79
IV mässig gut	30 - 59
V gering	10 - 29
VI sehr gering / kein Wald	bis 9

8 Bodenbezeichnung (Klassifikation)

Am Ende der Profil- und Standortbeschreibung wird der betreffende Boden klassiert, d.h. benannt und seine wichtigsten Eigenschaften angegeben (vgl. FAP, 1992a).

Bemerkungen	Bodenbezeichnung									
	Kalkbraunerde	Bodentyp	16	K	1353	17				
	blockig	Untertyp	VB			18				
	skeletthaltig bis skelettreich	Skeletthaltigkeit	19	^A 2	^B 3	20				
	lehmiger Schluff bis toniger Schluff	Feinerdekömung	21	^A 12	^B 13	22				
	normal durchlässig	Wasserhaushaltsgruppe /				C	23			
	mässig tiefgründig	Pflanzennutzbare Gründigkeit	55cm	3	24					
		Neigung	25	55%	Geländeform	W	26			

Abb. 28: Beispiel Bodenbezeichnung

8.1 Bodentypen

Böden mit ähnlicher Entstehungsgeschichte, ähnlichem Wasserhaushalt, ähnlichem Aufbau und ähnlichen chemischen und mineralogischen Eigenschaften werden zu Bodentypen zusammengefasst. Nachfolgend werden die häufigsten Bodentypen beschrieben.

Senkrecht durchwaschene Bodentypen

- Regosol (O): Wenig entwickelter, meist flachgründiger Boden; Humushorizont über wenig bis nicht verwittertem Muttermaterial (Mischgestein); häufig karbonatreich
- Fluvisol (F): Wenig entwickelter Boden aus geschichtetem Schwemmaterial (Alluvium)
- Rendzina (R): Ähnlich Regosol, aber aus Karbonatgestein entstanden; schwarz-grauer, mullhumoser Oberboden (oft sehr mächtig) über wenig bis nicht verwittertem Muttermaterial
- Kalkbraunerde (K): Boden mit Humus- und Verwitterungshorizont; karbonathaltig bis zur Oberfläche
- Braunerde (B): Humus- und Verwitterungshorizont teilweise oder ganz karbonatfrei; neutral bis schwach sauer, hohe Basensättigung, Name von der braunen Farbe herrührend

- Parabraunerde (T): Ähnlich Braunerde, aber Tonverlagerung vom Ober- in den Unterboden; dadurch im oberen Profileil meist schwach gebleichter Tonauswaschungshorizont und darunter rötlich-brauner Tonanreicherungshorizont; karbonatfrei; neutral bis sauer
- Saure Braunerde (E): Unterscheidet sich von der Braunerde durch tieferes pH ($\text{pH CaCl}_2 \leq 5$) und geringere Basensättigung im B-Horizont
- Eisenpodsol (P): Saurer bis stark saurer Boden; Auswaschung von Eisen und Huminstoffen; dadurch im oberen Profileil gebleichter, aschefarbener Auswaschungshorizont und darunter intensiv rostfarbener bis schwarzbrauner Anreicherungshorizont; häufig Rohhumusbildung
- Braunpodsol (Q): Ähnlich Eisenpodsol, aber Auswaschungshorizont nur schwach sichtbar; Unterboden wie Saure Braunerde

Stauwassergeprägte Bodentypen

- Braunerde-Pseudogley (Y): Oberboden ähnlich wie bei der Braunerde; zwischen 40 und 60 cm unter Terrain (u.T.) starke Anzeichen von Staunässe
- Pseudogley (I): Auch Oberboden häufig durch Stauwasser vernässt

Grund- oder hangwassergeprägte Bodentypen

(inkl. periodisch überschwemmte Böden)

- Braunerde-Gley (V): Oberboden ähnlich wie bei der Braunerde; zwischen 40 und 60 cm u.T. starke Vernässungsanzeichen
- Buntgley (W): Auch Oberboden häufig durch Grund- oder Hangwasser beeinflusst (fahlrostig gefleckt, bunt); Grundwasserspiegel meist unterhalb 90 cm u.T.
- Fahlgley (G): Wie Buntgley, aber Grundwasserspiegel meist oberhalb 90cm u.T. (fahler Horizont); häufig anmoorig

- Aueboden (A): Periodisch überschwemmter Boden; durch verschiedene Ablagerungen geschichtetes Bodenprofil, Vernässungsgrad abhängig vom Grundwasserstand
- Halbmoor (N): Organischer Nassboden mit stark mineralisiertem Oberboden und/oder mineralischen Zwischenschichten; Vernässungsgrad abhängig vom Grundwasserstand
- Moor (M): Organischer Nassboden mit sehr wenig Mineralerdebeimengungen

8.2 Untertypen

P Profilschichtung-/umlagerung	KF kalkflaumig	G5 sehr stark gleyig
PE erodiert	KT kalktuffig	G6 extrem gleyig
PK kolluvial	KA natriumhaltig	R Fremdnässe dauernd
PM anthropogen	F Verteilung des Fe-Oxids	R1 schwach grundnass
PA alluvial	FB verbraunt	R2 grundnass
PU überschüttet	FP podsolig	R3 stark grundnass
PS auf Seekreide	FE eisenhüllig	R4 sehr stark grundnass
PP polygenetisch	FQ quarzkörnig	R5 sumpfig
PL aeolisch	FM marmoriert	D Drainage
PT mit Torfzwischen-schicht(en)	FK konkretionär	DD drainiert
PD stark durchlässiger Untergrund	FG graufleckig	M org. Substanz aerob
V Verwitterungsart/extr. Körnung	FR rubefiziert	ML rohhumos
VL lithosolisch (< 10 cm u.T.)	Z Gefüge, Zustand	MF modrighumos
VF auf Fels (10 - 60 cm u.T.)	ZS krümelig, bröcklig (stabil)	MA humusarm
VU kluffig	ZK klumpig	MM mullhumos
VA karstig	ZT tonhüllig	MH huminstoffreich
VB blockig	ZV vertisolisch	O org. Substanz hydromorph
VK psephitisch (extr. kiesig)	ZL labilaggregiert	OM anmoorig
VS psammitisch (extr. sandig)	ZP pelosolisch	OS sapro-organisch
VT pelitisch (extr. feinkörnig)	L Lagerungsdichte	OA antorfig
E Säuregrad (pH CaCl₂)	L1 locker	OF flachtorfig
E0 alkalisch > 6,7	L2 verdichtet	OT tieftorfig
E1 neutral 6,2 - 6,7	L3 kompakt	T Typenausprägung
E2 schwach sauer 5,1 - 6,1	L4 verhärtet	T1 schwach ausgeprägt
E3 sauer 4,3 - 5,0	I Staunässe	T2 ausgeprägt
E4 stark sauer 3,3 - 4,2	I1 schwach pseudogleyig	T3 degradiert
E5 sehr stark sauer < 3,3	I2 pseudogleyig	H Horizontierung
K Karbonatgehalt	I3 stark pseudogleyig	HD diffus
KE teilweise entkarbonatet	I4 sehr stark pseudogleyig	HA abrupt horizontiert
KH karbonathaltig	G Fremdnässe wechselnd	HU unregelmässig horizontiert
KR karbonatreich	G1 grundfeucht	HB biologisch durchmischt
	G2 schwach gleyig	HT tiefgepflügt, rigolt
	G3 gleyig	
	G4 stark gleyig	

Tab. 21: Untertypen (ausführliche Beschreibung siehe FAP, 1992a)

Zur näheren Umschreibung der Bodentypen und zur Hervorhebung bestimmter Bodeneigenschaften werden Untertypen verwendet (Tab. 21). Die Untertypenbezeichnungen nehmen meistens Bezug auf Wasserhaushalt (sofern nicht bereits in der Definition des Bodentyps enthalten), Bodenreaktion, Gefüge, Profilschichtung sowie Art und Menge der organischen Substanz. Der gleiche Boden kann mehrere Untertypenbezeichnungen erhalten.

8.3 Wasserhaushalt / Pflanzennutzbare Gründigkeit

8.3.1 Art und Grad der Vernässung

Als Vernässung bezeichnet man die Bildung von Bodennässe, bedingt durch Grund- bzw. Hangwasser (seitliches Zufließen von Wasser ins Bodenprofil; Fremdnässe) oder Stauwasser (direktes Niederschlagswasser; Staunässe). Dieser Zustand hoher Wassersättigung des Bodens in Verbindung mit Luftmangel kann sich sowohl auf die pflanzliche Produktion als auch auf die Bewirtschaftung (Befahrbarkeit, Bearbeitbarkeit etc.) nachteilig auswirken. Zudem bilden Art und Grad der Vernässung die wichtigsten Einteilungskriterien bei der Bodenklassifikation (FAP 1992a). Deshalb ist es sehr wichtig, dass Vernässungsart und -grad am Profil exakt erfasst werden. Für die Erkennung und Einteilung der Vernässung spielen hauptsächlich Hydromorphiemerkmale der Bodenhorizonte, Reliefverhältnisse und (eventuell) Zeigerpflanzen eine Rolle.

Vernässung durch Grund-/Hangwasser und Überschwemmungen

Als Grundwasser bezeichnet man Wasser, das die Poren des Bodens (meist im Untergrund) zusammenhängend ausfüllt und einen Grundwasserspiegel ausbildet, wobei dieses Wasser im Profil ständig oder zeitweise vorhanden sein kann. Der Grundwasserstand kann an Profilgruben oder Bohrlöchern gemessen werden. Dabei soll der mittlere Grundwasserstand bestimmt werden; dieser befindet sich meistens innerhalb des Bgg-Horizonts. Es ist aber zu beachten, dass nicht bei allen Böden die Hydromorphiemerkmale gleich gut zum Ausdruck kommen (z.B. Moorböden). Zudem besteht bei drainierten Böden häufig keine Beziehung mehr zwischen morphologischen Grundwassermerkmalen und dem heutigen Grundwasserstand. In diesen Fällen sind wiederholte Grundwassermessungen nötig (eventuell können auch Zeigerpflanzen Hinweise geben).

Vernässung durch Stauwasser

Unter Stauwasser versteht man eine zeitweilige Wasseranreicherung infolge schlecht durchlässiger Bodenschichten, wobei dieses Wasser kaum seitlich fließt (stagniert) und seine Entstehung den an Ort und Stelle gefallen Niederschlägen verdankt. Der Staunässegrad hängt somit ab vom Niederschlagshaushalt, der Durchlässigkeit des Staukörpers und dessen Tiefenlage sowie dem Wasserverbrauch der Vegetation. Diese Faktoren bestimmen die Anstiegshöhe und die Verweildauer des Stauwassers. Charakteristisch bei Stauwasserböden ist der Wechsel zwischen Vernässung und Austrocknung. Je

nachdem welche Phase während der Vegetationsperiode dominiert, spricht man von wechsell trocken (Trockenphase länger als Nassphase) oder wechsellnass (Nassphase länger als Trockenphase).

Anmerkung:

Die Unterscheidung zwischen diesen beiden Vernässungsarten ist nicht immer leicht. Denn häufig gibt es auch Böden, die durch Grund- **und** Stauwasser beeinflusst sind. So bilden z.B. tonige, kompakte Gleye Zwischenformen zwischen Gley und Pseudogley, während Pseudogley mit einer sehr langen Nassphase zu den Gleyen überleiten. Hangwasserbeeinflusste Böden sollten den Gleyen zugeteilt werden. Vereinfacht kann man Gleye als "Senkenböden" mit permanenter Unterbodenvernässung bezeichnen, während Pseudogley "Plateauböden" mit temporärer Vernässung sind.

8.3.2 Bodenwasserhaushaltsgruppen

Generell werden drei Bodenwasserhaushaltsklassen unterschieden:

- Senkrecht durchwaschene Böden
- Stauwassergeprägte Böden
- Grund-/hangwassergeprägte Böden (inkl. periodisch überschwemmte Böden)

Die Unterteilung in verschiedene Wasserhaushaltsklassen und -gruppen stützt sich wesentlich auf das Vorhandensein bzw. die Tiefenlage und den Ausprägungsgrad von Vernässungsanzeichen im Bodenprofil ab.

SENKRECHT DURCHWASCHENE BÖDEN

Überschüssiges Niederschlagswasser kann mehr oder weniger ungehindert versickern.

Diese Böden sind nicht oder nur schwach von Stauwasser bzw. Grund- oder Hangwasser beeinflusst.

Stoffverlagerung vom Oberboden in den Unterboden ist möglich.

Häufige Bodentypen: Braunerde, Parabraunerde, Saure Braunerde, Kalkbraunerde, Regosol, Rendzina, Fluvisol.

Die Klasse der senkrecht durchwaschenen Böden wird in drei Gruppen unterteilt:

- Normal durchlässige Böden
- Stauwasserbeeinflusste Böden
- Grund-/hangwasserbeeinflusste Böden

Normal durchlässige Böden

Aufgrund der hohen Wasserdurchlässigkeit kann überschüssiges Wasser praktisch ungehindert in den Untergrund versickern. Die Versorgung dieser Böden mit Sauerstoff ist gut. Es sind keine bzw. nur unbedeutende Vernässungsanzeichen durch Stauwasser (Untertyp: **schwach pseudogleyig**) oder Grund-/Hangwasser (Untertypen: **grundfeucht**, **schwach gleyig**) vorhanden.

Die weitere Unterteilung erfolgt nach der pflanzennutzbaren Gründigkeit als wichtigem Faktor für das Wasser- und Nährstoffspeichervermögen (vgl. 8.3.3).

- a sehr tiefgründig
- b tiefgründig
- c mässig tiefgründig
- d ziemlich flachgründig
- e flachgründig

Stauwasserbeeinflusste Böden

Bei dieser Gruppe weisen einzelne Bodenpartien, meistens die unteren Wurzelbereiche, eine gehemmte Wasserdurchlässigkeit auf (höhere Lagerungsdichte, ungünstige Bodenstruktur, hoher Tongehalt u.a.), was zu periodischer Sättigung mit Sickerwasser, d.h. zu Sauerstoffmangel, führt. Diese Böden werden als **pseudogleyig** bezeichnet.

- f tiefgründig
- g mässig tiefgründig
- h ziemlich flachgründig
- i flachgründig

Grund-/hangwasserbeeinflusste Böden

Zufließendes Grund- oder Hangwasser führt im Unterboden bzw. im unteren Wurzelbereich zu periodischem Wasserüberschuss und kurzzeitiger Porensättigung. Diese Böden werden als **gleyig** bezeichnet.

- k tiefgründig
- l mässig tiefgründig
- m ziemlich flachgründig
- n flachgründig

STAUWASSERGEPRÄGTE BÖDEN

Diese Böden stehen unter dem dominanten Einfluss von Stauwasser.

Infolge hoher Lagerungsdichte, ungünstiger Bodenstruktur, hohem Tongehalt oder geologischem Schichtwechsel ist die Wasserdurchlässigkeit deutlich gehemmt.

Nach ausgiebigen Niederschlägen sind solche Böden während längerer Zeit vernässt.

Die Obergrenze starker Vernässungsanzeichen bzw. Gleyflecken (Horizontsymbol gg) liegt oberhalb 60 cm unter Terrain (Untertypen: **stark pseudogleyig, sehr stark pseudogleyig**).

Überschüssiges Regenwasser fließt vermehrt oberflächlich ab. Seitliche Wasserbewegungen in der Stauwasserzone des Bodens sind kaum möglich.

Während Trockenperioden entstehen bei tonig-mergeligen Ausgangsmaterialien tiefe Schwund- bzw. Trockenrisse im Bodenkörper, die zu einem ausgeprägten Prismengefüge führen.

Häufige Bodentypen: Braunerde-Pseudogley und Pseudogley.

Die Klasse der stauwassergeprägten Böden wird in zwei Gruppen unterteilt:

Selten bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Die Vernässung beschränkt sich auf den Unterboden. Der Oberboden ist vergleichbar mit demjenigen von normal durchlässigen Böden; er zeigt keine Vernässungsanzeichen.

- o mässig tiefgründig bis tiefgründig
- p ziemlich flachgründig

Häufig bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Auch der Oberboden zeigt Vernässungsanzeichen (Horizontsymbol Ahg oder Ahgg).

- q ziemlich flachgründig
- r flachgründig

GRUND-/HANGWASSERGEPRÄGTE BÖDEN

Diese Böden stehen unter dem dominanten Einfluss von Grund- oder Hangwasser.

Je nach Vernässungsgrad tritt eine periodische bis dauernde Wassersättigung im Unter- bzw. Oberboden auf.

Luftmangel in den periodisch wasserführenden Bodenbereichen führt zur Ausbildung von stark rostfleckigen Horizonten (Oxidationszone); andauernde Porensättigung zu fahlgrauen Bodenhorizonten (Reduktionszone). Oft besitzen diese Böden anmoorige Humusformen.

Die Obergrenze starker Vernässungsanzeichen bzw. Gleyflecken (Horizontsymbol gg) liegt oberhalb 60 cm unter Terrain (Untertypen: **stark gleyig bis sumpfig**).

Periodisch **überschwemmte Böden** (Aueböden) werden ebenfalls dieser Wasserhaushaltsklasse zugeordnet, weil diese gleichzeitig grundwasserbeeinflusst sind.

Häufige Bodentypen: Braunerde-Gley, Buntgley, Fahlgley, Halbmoor, Moor, Aueboden.

Die Klasse der grund-/hangwassergeprägten Böden wird gemäss der Oberbodenvernässung in vier Gruppen unterteilt (es wird zusätzlich zwischen mineralischen und organischen Böden unterschieden):

Selten bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Die Vernässung beschränkt sich auf den Unterboden. Der Oberboden ist vergleichbar mit demjenigen von normal durchlässigen Böden; er zeigt keine Vernässungsanzeichen.

- s tiefgründig
- t mässig tiefgründig
- u ziemlich flachgründig

Häufig bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Der Oberboden ist oft porengesättigt und zeigt schwache Vernässungsanzeichen (Horizontsymbol Ahg).

- v mässig tiefgründig
- w ziemlich flachgründig bis flachgründig

Meist bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Im Oberboden sind nur noch die Grobporen häufig durchlüftet. Mittelporen werden nur in Trockenperioden teilweise entwässert. Starke Vernässungsanzeichen zeigen diesen Zustand an (Horizontsymbol Ahgg).

- x ziemlich flachgründig
- y flachgründig

Dauernd bis zur Oberfläche porengesättigte Böden

Der Oberboden ist das ganze Jahr mit Grund- oder Kapillarwasser gesättigt. Höchstens die Grobporen werden noch kurzzeitig entwässert. Pflanzenrückstände werden kaum mehr zersetzt (Horizontsymbol Agg, Ar, T).

- z sehr flachgründig

8.3.3 Pflanzennutzbare Gründigkeit und Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser

Für die land- und forstwirtschaftliche Pflanzenproduktion ist das Wasserspeichervermögen eines Bodens von grösster Bedeutung. Vor allem das Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser (0.1 - 1.0 at Saugspannung) ist eine wichtige Kenngrösse der normal durchlässigen Böden. Ein ungefähres Mass des Speichervermögens für leicht verfügbares Wasser ist die pflanzennutzbare Gründigkeit. Unter pflanzennutzbarer Gründigkeit versteht man die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Teils eines Bodens. Sie wird ermittelt, indem von der Durchwurzelungstiefe die nicht durchwurzelbaren Teile (Skelett, verdichtete oder ständig wassergesättigte Zonen) abgerechnet werden. Das Speichervermögen ist ungefähr proportional (Faktor 0,1) der pflanzennutzbaren Gründigkeit. So weist ein tiefgründiger Boden (70 - 100 cm) ein Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser von ungefähr 70 - 100 mm, resp. 70 - 100 l/m² auf.

Pflanzennutzbare Gründigkeit				Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser bei mittelschweren Böden							
	Abkürzung	cm			Abkürzung	mm oder Liter/m ²					
0	extrem tiefgründig	etg	>	150	0	extrem gross	eg	>	150		
1	sehr tiefgründig	stg	100	-	150	1	sehr gross	sg	100	-	150
2	tiefgründig	tg	70	-	100	2	gross	g	70	-	100
3	mässig tiefgründig	mtg	50	-	70	3	mittel	m	50	-	70
4	ziemlich flachgründig	zfg	30	-	50	4	klein	k	30	-	50
5	flachgründig	fg	10	-	30	5	sehr klein	sk	10	-	30
6	sehr flachgründig	sfg	<	10	6	extrem klein	ek	<	10		

Tab. 22: Pflanzennutzbare Gründigkeit und Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser

TEIL III ANWENDUNG UND INTERPRETATION



9 Anwendung und Interpretation der Bodenkarte in der Forstwirtschaft

9.1 Vorgehen bei der Interpretation von Bodenkarten

- **Aufsuchen der zu interpretierenden Teilfläche(n) auf der Bodenkarte**
- **Erste Interpretation nach den Farben der Bodenkarte (Kurzlegende)**

Bereits aus der Farbgebung der Bodenkarte nach Wasserhaushalt und pflanzennutzbarer Gründigkeit sind in einem ersten Schritt (grobe) Interpretationen in Bezug auf die forstwirtschaftliche Bodeneignung möglich (Tab. 23). So beeinflusst z.B. der Wasserhaushalt in entscheidendem Mass die Baumartenwahl oder die Befahrbarkeit der Böden.

- **Verfeinerte Interpretation mittels Kartencode (detaillierte Legende)**

Für verfeinerte Interpretationen ist **immer die detaillierte Legende zu konsultieren**. Dort finden sich alle Angaben über die aufgenommenen Bodeneigenschaften, wie etwa jene über die Feinerdekörnung oder die pH-Verhältnisse sowie Hinweise auf mögliche **Standardprofile**. Die beschriebenen Bodeneigenschaften können nun in Bezug zu den zu lösenden Problemen gebracht werden.

- **Einbezug der übrigen Standortfaktoren**

Viele Interpretationen können aber nicht allein aufgrund der Bodeneigenschaften vorgenommen werden, sondern müssen mit anderen Standortfaktoren wie Klima, Vegetation und Relief kombiniert werden. Aus diesem Grund enthalten Bodenkarten (v.a. 1:25'000) auch Angaben zu diesen Faktoren.

Der für das Pflanzenwachstum am stärksten limitierende Standortfaktor bestimmt die forstwirtschaftliche Eignung.

Teil III Anwendung und Interpretation

Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit			Forstwirtschaft			
Code, Komplex-Nr.			Produktionsfähigkeit	Baumartenwahl	Befahrbarkeit	
Senkrecht durchwaschene Böden						
a b [1-49]	normal durchlässig	{	sehr tiefgründig	*****	ΔΔΔΔ	xxxx
c [50-99]			tiefgründig	****	ΔΔΔΔ	xxxx
d [100-199]			mässig tiefgründig	***	ΔΔΔ	xxxx
e			ziemlich flachgründig	**	ΔΔΔ	xxxx
			flachgründig	*	ΔΔ	xxxx
f g [200-249]	stauwasserbeeinflusst	{	tiefgründig	*****	ΔΔΔ	xxx
h [250-299]			mässig tiefgründig	****	ΔΔ	xxx
i			ziemlich flachgründig	***	Δ	xxx
			flachgründig	**	Δ	xxx
k l [300-349]	grund-/hangwasserbeeinflusst	{	tiefgründig	*****	ΔΔΔ	xxxx
m [350-399]			mässig tiefgründig	****	ΔΔ	xxx
n			ziemlich flachgründig	***	ΔΔ	xxx
			flachgründig	**	Δ	xx
Stauwassergeprägte Böden						
o [400-449]	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	{	mässig tiefgründig, tiefgründig	****	ΔΔ	xxx
p			ziemlich flachgründig	***	Δ	xx
q [450-499]	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	{	ziemlich flachgründig	**	Δ	xx
r			flachgründig	*	Δ	xx
Grund-/hangwassergeprägte und überschwemmte Böden						
s t [500-549/550-599]	selten bis zur Oberfläche porengesättigt	{	tiefgründig	*****/**	ΔΔ/ΔΔ	xxx/xx
u			mässig tiefgründig	****/*	ΔΔ/ΔΔ	xxx/xx
			ziemlich flachgründig	***/*	Δ/Δ	xx/x
v [600-649/650-699]	häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	{	mässig tiefgründig	***/*	ΔΔ/Δ	xx/x
w			ziemlich flachgründig, flachgründig	**/*	Δ/Δ	x/x
x [700-749/750-799]	meist bis zur Oberfläche porengesättigt	{	ziemlich flachgründig	*/*	Δ/Δ	x/o
y			flachgründig, sehr flachgründig	*/-	Δ/-	x/o
z [800-849/850-899]	dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt		sehr flachgründig	-/-	-/-	o/o

Legende:

Produktionsfähigkeit: ***** = ausgezeichnet
 (bei Beurteilung mit standorttauglichen Baumarten) **** = sehr gut
 *** = gut
 ** = mässig gut
 * = gering
 - = sehr gering / kein Wald

Baumartenwahl: ΔΔΔΔ = sehr vielseitig
 ΔΔΔ = vielseitig
 ΔΔ = eingeschränkt
 Δ = stark eingeschränkt
 - = sehr stark eingeschränkt / kein Wald

Befahrbarkeit: xxxx = gut befahrbar mit normal bereiften Traktoren
 xxx = nach Niederschlagsperioden beschränkt oder nicht befahrbar mit normal bereiften Traktoren
 xx = häufig (nach Niederschlägen) mit normal bereiften Traktoren nicht befahrbar; mit Spezialbereifung befahrbar
 x = nur mit spezialbereiften Traktoren befahrbar (Breitreifen)
 o = nicht befahrbar

Tab. 23: Forstwirtschaftliche Bodeneignung aufgrund von Wasserhaushalt und pflanzennutzbarer Gründigkeit (erste Interpretation aufgrund der Farbgebung); Auszug Rückseite Bodenkarte 1:25'000.

9.2 Anwendungsbereiche

Als standortkundliche Grundlagenkarte ist die Bodenkarte bei verschiedenen Planungsfragen im Wald ein unentbehrliches Hilfsmittel.

- Im Waldbau steht bei der Anwendung der Bodenkarte die Interpretation im Hinblick auf die **Baumartenwahl** sowie auf den **Verlauf des Baumwachstums** im Vordergrund. Die Angaben aus der Bodenkarte erlauben Schlussfolgerungen in Bezug auf Bestandesstabilität und Umtriebszeit (vgl. 9.5).

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit (Wurzelraum), Säuregrad, Humusform

- Bei der Nutzungsplanung, d.h. beim Erstellen von Wirtschaftsplänen können Bodendaten mit ertragskundlichen Daten der Forsteinrichtung kombiniert werden. Dadurch wird die Bildung von **Standorteinheiten**, Abteilungen, Wuchszonen oder eigentlichen Betriebsklassen erleichtert.

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit, Produktionsfähigkeit (Bodenqualität), Geländeform (Oberflächengestalt und Hangneigung)

- Bei Holzerntefragen, v.a. im Bereich **Befahrbarkeit** können aus Bodenkarten wertvolle Informationen gewonnen werden (vgl. 9.7.1). Im forstlichen Strassenbau kann mittels Karte der Boden als **Baugrund** und **Baustoff** in erster Annäherung beurteilt werden (vgl. 10.3).

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Wasserhaushalt, Humusform (org. Böden), Feinerdekörnung, Skelettgehalt, Geländeform

- Bei Waldzusammenlegungen ist es möglich, den Boden als Produktionsgrundlage zu begutachten und einen **Bodenwert** (Tauschwert) festzulegen (vgl. 9.6).

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Produktionsfähigkeit

- Als Standortkarte liefert die Bodenkarte auch für Natur- und Landschaftsschutz Grundlagen, so z.B. bei der Bewertung der **Naturschutzfunktion** gewisser Wälder resp. bei der Ausscheidung von Waldreservaten.

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Bodentyp, Humusform (org. Böden), Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit, Produktionsfähigkeit

- Immer wichtiger werden Bodenkarten bei **Umweltverträglichkeitsprüfungen**, die den Wald betreffen, v.a. bei der Planung von Kiesgruben und Deponiestandorten, aber auch beim Leitungsbau oder bei Skipistenplanierungen.

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- diverse Bodeneigenschaften, Produktionsfähigkeit

- In höheren Lagen können Bodenkarten auch für die Analyse von Naturgefahren, speziell für die Beurteilung der **Erosionsgefährdung** resp. Geschiebemengen verwendet werden.

Erforderliche Information aus der Bodenkarte:

- Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit, Feinerdekörnung, Skelettgehalt

9.3 Bodenkarte und Standort

Die Forstwirtschaft in der Schweiz ist bestrebt, das von der Natur gegebene "Produktionspotential" unter optimaler Erfüllung der Schutz- und Erholungsfunktion nachhaltig zu nutzen, wobei das Prinzip der naturnahen Bewirtschaftung im Vordergrund steht (EAFV, 1988a). Um dieses Ziel zu erreichen sind Kenntnisse über die ökologischen Grundlagen, d.h. über den Standort, Voraussetzung.

9.3.1 Standort und Standortfaktoren

Unter Standort wird die Gesamtheit der auf die Waldbäume einwirkenden Umweltbedingungen verstanden. Die Erfassung dieser Bedingungen ist Ziel der forstlichen Standortkartierung und gilt heute als unentbehrliches Werkzeug der forstlichen Planung. Eine optimale Umschreibung des Standortes erhält man durch das Erfassen der beobachtbaren Standortfaktoren Klima, Vegetation, Boden und Relieflage (ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG, 1980). Bei idealen, natürlichen Verhältnissen zeigt im Wald auch die Vegetation als Einzelfaktor die Gesamtheit der Umweltbedingungen recht gut an.

9.3.2 Methoden der Standortkartierung

1967 wurden die Ergebnisse eines im Schweizer Mittelland durchgeführten internationalen Methodenvergleichs veröffentlicht (ELLENBERG, 1967). Als bestes Verfahren bewertete man dabei eine **kombinierte Methode**, bei der durch Zusammenfassen von Vegetationstypen, Bodenformen sowie weiteren Standorteigenschaften, sog. **Standortformengruppen** gebildet wurden. Der Vorteil einer kombinierten Methode liegt darin, dass beim Ausfall eines Standortfaktors (z.B. Vegetation in einem dichten Fichtenstangenholz) die Ansprache der übrigen Faktoren immer noch eine Beurteilung und eine Zuordnung zu einem Standorttyp zulässt.

Im deutschsprachigen Raum haben sich in der Waldstandortkartierung verschiedene Methoden durchgesetzt, zum Teil mit Schwergewicht auf der Vegetation, zum Teil mit Schwergewicht auf dem Standortmerkmal Boden oder Substrat; meist werden aber kombinierte Verfahren angewandt.

In der Schweiz liegt das Schwergewicht bei der eigentlichen Vegetationskartierung, wobei heute bei den meisten Kartierungen auch Bodenansprachen am Profil vorgenommen, d.h. Vegetationsdaten mit Bodendaten verknüpft werden.

9.3.3 Bodenkarte als Mittel der Standortkartierung

Die Bedeutung der Bodenkarte innerhalb der Standortkartierung kann verschieden sein. Eine hilfreiche Unterstützung ist die Bodenkarte etwa bei Vegetationskartierungen; so können Waldgesellschaften mit ökologisch weitem Spektrum enger gefasst oder noch weiter unterteilt werden (z.B. Unterteilung in zwei pH-Bereiche oder Unterteilung in normale und gehemmte Durchlässigkeit). Auch wenn Unsicherheiten bei der Vegetationsansprache bestehen (Jungwüchse, stark anthropogen beeinflusste Flächen, dichte Fichtenbestände), kann über eine Verknüpfung der Boden- und Vegetationsdaten die Waldgesellschaft trotzdem bestimmt werden. In dieser Hinsicht sind die in den Berichten beschriebenen Leitprofile wichtig, v.a. wenn sie mit Vegetationsaufnahmen kombiniert werden.

Andererseits können Bodenkarten zusammen mit Vegetationskarten auch für die Bildung von **Standorttypen** oder im Wirtschaftswald für **Bestockungszieltypen** verwendet werden (Abb. 29).

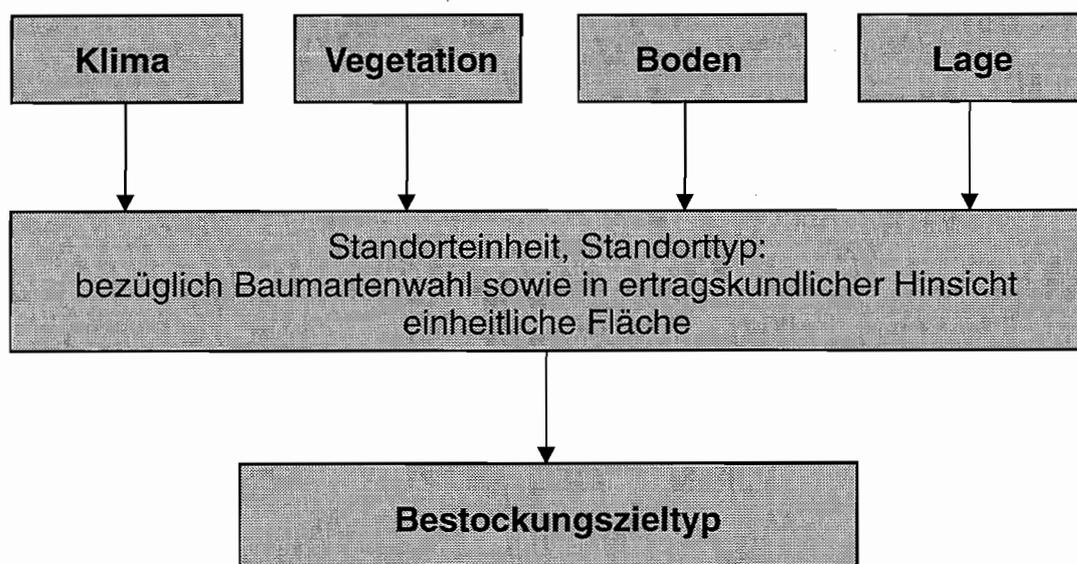


Abb. 29: Standortfaktoren und Standorttyp

Eine Bodenkarte kann aber auch für sich allein als Standortkarte interpretiert werden. Böden mit ähnlichen Eigenschaften können zu sog. Bodeneignungseinheiten zusammengefasst werden. Mit den Angaben über Wasserhaushalt/Gründigkeit sowie die pH-Verhältnisse, lassen sich die einzelnen Bodeneignungseinheiten analog den Waldgesellschaften in einem **Ökogramm** darstellen. Mit der Produktionsfähigkeit des Bodens sowie den Standortansprüchen der Baumarten können auch eigentliche Standorttypen (waldbauliche Eignungseinheiten) beschrieben werden (vgl. 10.1).

9.4 Die Produktionsfähigkeit

Angaben zur Holzproduktion werden in den Bodenkarten durch die sog. Produktionsfähigkeit gemacht. Unter Produktionsfähigkeit ist die aufgrund des **Standortfaktors Boden** mögliche Massen- (und Wertleistung) einer standortgerechten Bestockung zu verstehen. Die Produktionsfähigkeit widerspiegelt die **Bodenqualität**. Da bei Waldkartierungsprojekten normalerweise keine ertragskundlichen Erhebungen durchgeführt werden, basieren die Aussagen über Bodenqualität oder Produktionsfähigkeit allein auf den Bodeneigenschaften eines Standortes. Unterstützt werden solche Interpretationen durch Baumhöhenmessungen und Bonitätsbestimmungen beim Bodenprofil.

Die Produktionsfähigkeit oder Bodenqualität spielt bei verschiedenen Fragestellungen eine Rolle, etwa bei der Bewertung von Parzellen bei Waldzusammenlegungen, bei der Standorttypenbildung oder etwa im Sinne von Beweissicherung bei geplanten Kiesgruben und Deponien.

Bei Detailkartierungen wird jeder in der Legende aufgeführte Boden, d.h. jede Bodeneinheit speziell beurteilt und einer Produktionsfähigkeitsstufe zugeordnet; bei der Kartierung im Massstab 1:25'000 wird pauschal für jede Wasserhaushalts-/Gründigkeitsstufe eine Produktionsfähigkeitsstufe angegeben (vgl. Tab. 23).

Auf die Bestimmung der Bodenqualität wird im Abschnitt 9.6 (Bewertung von Waldböden) noch näher eingegangen.

9.4.1 Produktionsfähigkeitsstufen

Insgesamt werden 6 Produktionsfähigkeitsstufen unterschieden (Tab. 24).

Stufe	Produktionsfähigkeit	Beurteilung
I	ausgezeichnet	beste Waldstandorte
II	sehr gut	sehr gute Waldstandorte
III	gut	gute Waldstandorte
IV	mässig gut	mittlere Waldstandorte
V	gering	Waldstandorte ohne Produktionsfunktion
VI	sehr gering	kaum waldfähige Standorte

Tab. 24: Produktionsfähigkeitsstufen

I ausgezeichnet

Diese hauptsächlich sehr tiefgründigen Böden (mit einem sehr grossen Wasserspeichervermögen) gehören zu den besten Waldstandorten.

Bei ungehemmter Durchlässigkeit müssen die Böden sehr tiefgründig (> 100 cm) sein. Stau- oder grundwasserbeeinflusste Böden sind mindestens tiefgründig (> 70 cm).

Die Böden sind vielseitig nutzbar. Alle in der entsprechenden Klimaregion heimischen Wirtschaftsbaumarten können bei bester Qualität einen maximalen Zuwachs leisten.

II sehr gut

Diese Böden sind hauptsächlich tiefgründig mit einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von 70 -100 cm. Es sind sehr gute und gute Waldstandorte.

Die normal durchlässigen, tiefgründigen Böden sind vielseitig nutzbar. Alle heimischen Baumarten können bei guter Qualität einen sehr guten Zuwachs leisten.

In diese Stufe gehören auch die tiefgründig bis mässig tiefgründigen, stau- oder grundwasserbeeinflussten Böden sowie tiefgründige bis mässig tiefgründige, selten bis zur Oberfläche wassergesättigte Nassböden, sofern sie noch einen braunerdeähnlichen Oberboden aufweisen. Die Baumartenwahl ist eingeschränkt. Die standortgerechten Waldbäume leisten jedoch bei hoher Qualität einen sehr guten Zuwachs.

III gut

Auf den mässig tiefgründigen (50 - 70 cm), normal durchlässigen Böden mit mittelgrossem Wasserspeichervermögen erbringen die meisten heimischen Baumarten einen guten Zuwachs.

Auf den mässig tiefgründigen bis ziemlich flachgründigen, stau- oder grundwasserbeeinflussten Böden ist die Baumartenwahl eingeschränkt. Die geeigneten Bäume zeigen einen guten Zuwachs.

Auf mässig tiefgründigen bis ziemlich flachgründigen Nassböden, die selten oder häufig bis zur Oberfläche porengesättigt sind, ist die Baumartenwahl oft stark eingeschränkt. Nur einzelne Arten erbringen bei guter Qualität einen guten Zuwachs.

IV mässig gut

Diese Böden sind mehrheitlich ziemlich flachgründig (30 - 50 cm). Ihre Produktionsfähigkeit ist quantitativ oder qualitativ deutlich eingeschränkt.

Auf den ziemlich flachgründigen, normal durchlässigen sowie stau- oder grundwasserbeeinflussten Böden leisten nur noch einzelne Baumarten einen mässigen, andere nur einen geringen Zuwachs.

Auf ziemlich flachgründigen Nassböden (selten, häufig oder meistens bis zur Oberfläche wassergesättigt) ist die Baumartenwahl noch stärker als in der III. Produktionsstufe eingeschränkt. Die standortgerechten Baumarten leisten einen mässig guten bis geringen Zuwachs.

V gering

In diese Stufe gehören Waldstandorte ohne Produktionsfunktion.

Es sind flachgründige (10 - 30 cm), normal durchlässige sowie stau- oder grundwasserbeeinflusste Böden. Einzelne Baumarten leisten einen geringen Zuwachs. Dasselbe gilt bei flachgründigen Nassböden, die häufig bis meistens bis zur Oberfläche wassergesättigte Poren aufweisen. Hier handelt es sich oft um wertvolle Naturschutzgebiete.

VI sehr gering

Solche Standorte sind kaum waldfähig. Sie sind höchstens von Gebüschwald oder nur von einzelnen Baumarten und Sträuchern bestockt.

Hierher gehören sehr flachgründige, normal durchlässige sowie dauernd bis zur Oberfläche porengesättigte Böden. Ihre pflanzennutzbare Gründigkeit ist kleiner als 10 cm.

9.5 Bodenkarte und Waldbau

Die Forderung nach stabilen, naturnahen Beständen sowie auch nach Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bedingt eine standortgemässe Waldbewirtschaftung. Anhand der Bodenkarte kann den unterschiedlichen Ansprüchen der verschiedenen Baumarten an die Bodeneigenschaften Rechnung getragen, d.h. das Baumwachstum besser beurteilt und die Baumartenwahl sicherer getroffen werden. Auch können Fragen zur Umtriebszeit oder zum Verjüngungszeitraum besser beantwortet werden.

Angaben über den Säuregrad und die Humusform dienen bodenpflegenden Massnahmen, wie z.B. der Pflege des Nebenbestandes.

9.5.1 Bodeneigenschaften und Baumartenwahl

Für die Baumartenwahl besonders wichtig ist die Beurteilung der Wasserversorgung und des Wasser-/Lufthaushaltes des Bodens sowie der durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit oder pflanzennutzbaren Gründigkeit. Wieviel Wasser den Pflanzen für das Wachstum zur Verfügung steht, wird nebst den klimatischen Bedingungen massgeblich vom **Wasserhaushalt des Bodens** bestimmt (Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Wasser). Der Bodenaufbau (durchlässig, stauend usw.) beeinflusst dabei das Wasserregime entscheidend. Genügend **durchwurzelbarer Bodenraum** ist für Waldbäume mit ihrem mächtigen Wurzelwerk sowohl für die Wasser- und Nährstoffaufnahme als auch für die Verankerung äusserst wichtig.

Der Nährstoffumsatz des Ökosystems Wald befindet sich im Vergleich zur aktuellen Landwirtschaft auf einem viel tieferen Niveau; die Toleranz vieler Baumarten bezüglich Nährstoffangebot ist aber recht gross. Es gilt lediglich, dass an essentiellen Nähr- und Spurenelementen kein Mangel bestehen sollte.

Schon die Betrachtung der verschiedenartigen Ausprägung der **Wurzelwerke** unserer Waldbäume verdeutlicht die unterschiedlichen Ansprüche an die Bodeneigenschaften, was den Wasserhaushalt, insbesondere aber auch die Feinerdekörnung oder die Lagerungsdichte anbelangen (KÖSTLER, BRÜCKNER, BIBELRIETHER, 1968). Baumarten mit Pfahlwurzeln können z.B. schwere, tonige Böden oder schlecht durchlässige, dichte Bodenschichten besser aufschliessen als Baumarten mit Horizontal-Wurzelwerk und Senkerwurzeln, die sich auf solchen Böden nur mit Mühe verankern. Anspruchslose Baumarten haben oft ein überdurchschnittlich gut entwickeltes Wurzelwerk, haben also z.T. nur scheinbar einen geringeren Nährstoff- und Wasserbedarf, während anspruchsvolle Baumarten z.T. ein weniger gut ausgebildetes Wurzelwerk aufweisen.

Da die Legende der Bodenkarten sowie deren Farbgebung nach den Kriterien Wasserhaushalt und pflanzennutzbare Gründigkeit aufgebaut sind, können die Karten direkt für die Baumartenwahl verwendet werden. Es ist aber zu beachten, dass je nach Klimazone die Bodenwasserhaushalts-/Gründigkeitsstufen unterschiedlich zu interpretieren sind. So weist

beispielsweise ein normal durchlässiger, flachgründiger Boden in der Klimazone A2 (mässig trocken) ein deutlich grösseres Trockenheitsrisiko auf, als ein vergleichbarer Boden in einem niederschlagsreichen Gebiet, z.B. Klimazone B5 (sehr feuchter Niederschlagshaushalt).

Abb. 30 gibt über die Ansprüche der wichtigsten Baumarten an den Boden Auskunft. Die Zusammenstellung ist gemäss Bodenkartenlegende aufgebaut, d.h. es kann mit dem auf der Bodenkarte angegebenen Kartencode für Wasserhaushalt/Gründigkeit/Bodentyp eingestiegen werden.

Wasserhaushalt pflanzennutzbare Gründigkeit	Normal durchlässig					Stau-/grund-/ hangwasserbeeinflusst:				Stauwasser geprägt; Porensättigung bis zur Oberfläche:				Grund-/hangwasser geprägt; Porensättigung bis zur Oberfläche:							
	selten		häufig		selten		häufig		selten		häufig		meist		dauernd						
Bodentyp	e	d	c	b	a	f+k	g+l	h+m	i+n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
O Regosol	Fö	HBI				Fö	REI			Fö	HBI										
F Fluvisol	TEI	KI				TEI	FI	WLI	HBu	HBu											
K Kalkbraunerde																					
B Braunerde	Fö	Fö	TEI			TEI	KI	BUI	SEI												
T Parabraunerde		LA				LA	FI	WLI	Es	Bu	BAh										
E Saure Braunerde		Bu	FI			FI	LA	WLI	Es	Bu	BAh										
P Podzol	Fö	LA				FI	LA	Ta	Fö												
Y Braunerde Pseudogley										BAh	WLI	HBu									
I Pseudogley										Es	Ta	SEI									
V Braunerde-Gley																					
W Buntgley																					
G Fahlgley																					
N Halbmoor																					

BAh	Bergahorn	Es	Esche	KI	Kirschaum	REI	Roteiche	TEI	Traubeneiche	Do	Douglasie	LA	Lärche
Bu	Buche	HBI	Hängebirke	MBI	Moorbirke	SEI	Stieleiche	We	Weide	FI	Fichte	St	Strobe
BUI	Bergulme	HBu	Hagebuche	Pa	Pappel	SEr	Schwarzerle	WLI	Winterlinde	Fö	Föhre	Ta	Tanne

Abb. 30: Ansprüche der wichtigsten Baumarten an den Boden

Tiefgründige Kalkbraunerden, Braunerden, Saure Braunerden und Parabraunerden sagen den meisten Baumarten zu.

Stauwasserbeeinflusste sowie grund-/hangwasserbeeinflusste Böden sind aufgrund der besseren Wasserversorgung bezüglich Produktivität höher zu bewerten als vergleichbare normal durchlässige Böden. Die Auswahl an Baumarten, denen diese Bodenverhältnisse zusagen, ist aber bereits geringer.

Die selten bis zur Oberfläche porengesättigten, stauwasser geprägten sowie grund- oder hangwasser geprägten Böden zeichnen sich durch eine hohe Produktionsfähigkeit aus, während die Baumartenauswahl mehr oder weniger stark eingeschränkt ist. Bei richtiger Bestockung (z.B. Bergahorn, Esche, Stieleiche, Tanne) sind diese Böden sowohl ökologisch als auch ökonomisch interessant.

Nur eine geringe Anzahl von Baumarten eignet sich für die Bestockung von stauwasser-geprägten, häufig bis zur Oberfläche porengesättigten Böden. Als wichtigste sind die Tiefwurzler Stieleiche, Tanne, Winterlinde und Hagebuche zu nennen. Auf nährstoffreichen Pseudogleyen ist auch Esche, auf nährstoffarmen Föhre geeignet. Neben der Wahl der richtigen Baumarten ist auch eine andauernde Bestockung wichtig.

Auf grund- oder hangwassergeprägten Böden ist die Baumartenauswahl je nach Vernässungsgrad mehr oder weniger stark eingeschränkt (Stieleiche, Esche, Schwarzerle). Die Mächtigkeit des durchlüfteten Bodenteils spielt hier eine grosse Rolle.

9.5.2 Verjüngungszeitpunkt und Verjüngungszeitraum

Der ertragskundliche Verjüngungszeitpunkt eines idealen Bestandes ist dann erreicht, wenn der durchschnittliche Gesamalterswertzuwachs kulminiert ist (LEIBUNDGUT, 1981). Beim Festlegen des Verjüngungszeitpunktes sind aber auch Überlegungen zu Nachhaltigkeit, Gesundheitszustand, Stabilität oder Holzerntebedingungen anzustellen.

Hauptsächlich was das Beurteilen von Risiken in Bezug auf die **Bestandesstabilität** (z.B. Windwurfgefahr) anbelangt, können aus den Bodenkarten wichtige Informationen gewonnen werden. So sind die meisten Bestände, bei denen der Wurzelraum (pflanzennutzbare Gründigkeit) aus irgendeinem Grunde eingeschränkt ist (anstehender Fels, dichte Bodenschichten, Vernässungen) ab einem gewissen Alter windwurfgefährdet. Vor allem auf gut wüchsigen (gut wasserversorgten) Böden, aber auch auf anderen Standorten mit eingeschränktem Wurzelraum, kann es im Verlaufe der Zeit zu einem Ungleichgewicht zwischen Kronenvolumen und Wurzelvolumen kommen, das zu erhöhter Windwurfgefahr führt. Auch bei naturnaher Bestockung kann es deshalb vorab auf pseudogleyigen oder Pseudogley-Böden vorkommen, dass mit der Verjüngung früher eingesetzt werden muss als in vergleichbaren Beständen ohne Einschränkungen im Wurzelraum (gleiche pflanzensoziologische Gesellschaft möglich).

Das Erreichen des kritischen Alters zeigt sich oft durch Windwurf von Einzelbäumen. Aus wirtschaftlichen Überlegungen ist es auf solchen Standorten angebracht, den Verjüngungszeitraum möglichst kurz zu wählen. Spezielles Fördern von Altholz ist nicht zu empfehlen.

9.6 Die Bewertung von Waldböden

Die möglichst objektive Erfassung eines Bodenwertes ist immer dann von Interesse, wenn es um die Festlegung eines verbindlichen Tausch- oder Handelswertes geht. Bei verschiedenen Waldzusammenlegungen im schweizerischen Mittelland konnte eine Methode entwickelt und angewandt werden, bei der die Bodenqualität durch die Beurteilung und Gewichtung von Bodeneigenschaften bestimmt und mit einer Punktzahl angegeben wird.

9.6.1 Bodenpunktzahl und Produktionsfähigkeitsstufe

Bei der Bewertung der Böden ist es wichtig, einen Punkterahmen zu definieren. Dieser beträgt in Anlehnung an die Bewertung der Landwirtschaftsböden 100 Punkte. Der gesamte Wertebereich wird in sechs Produktionsfähigkeitsstufen unterteilt (vgl. 9.4.1).

Um zu vereinfachen, wird bei der detaillierten Bewertung der Profile nicht der ganze Punkterahmen von 1-100 ausgenützt. Die Produktionsfähigkeitsstufen I-V werden lediglich in einen oberen, mittleren und unteren Bereich unterteilt. Dies ergibt insgesamt 16 verschiedene Werte (Tab. 25).

Produktions- fähigkeitsstufe	Punkte	Vorkommende Bodenpunktzahlen		
		unterer Bereich	mittlerer Bereich	oberer Bereich
I	92 - 100	94	98	100
II	80 - 91	82	86	90
III	60 - 79	64	70	76
IV	30 - 59	35	45	55
V	10 - 29	15	20	26
VI	bis 9	5 Punkte		

Tab. 25: Mögliche Bodenpunktzahlen

Anmerkung:

Wie erwähnt, bezieht sich der Begriff Produktionsfähigkeit auf den Standortfaktor Boden. Bei der Tauschwertbestimmung im Rahmen von Waldzusammenlegungen ist es aber zweckmässig, v.a. Expositionsunterschiede mitzubersichtigen und bei der Definition der Produktionsfähigkeit einzuschliessen (vgl. 9.6.4).

9.6.2 Der Bewertungsablauf

Der Bewertungsablauf geschieht auf drei Ebenen (Abb. 31). Vorerst wird der Bodenaufbau begutachtet. Die Bodenbeurteilung, bei der Wasserhaushalt und Gründigkeit im Vordergrund stehen, führt zum Bodenprofilwert. Dieser Wert charakterisiert die eigentliche Produktionsfähigkeit oder Bodenqualität.

Anschliessend werden allfällige Standortkorrekturen, welche Klima und Exposition betreffen, vorgenommen. Daraus resultiert die Bodenpunktzahl oder der Standortwert. Weitere Korrekturen sind gebietsabhängig und betreffen etwa Hangneigung, Erschliessung, Waldrand, Servitute etc.

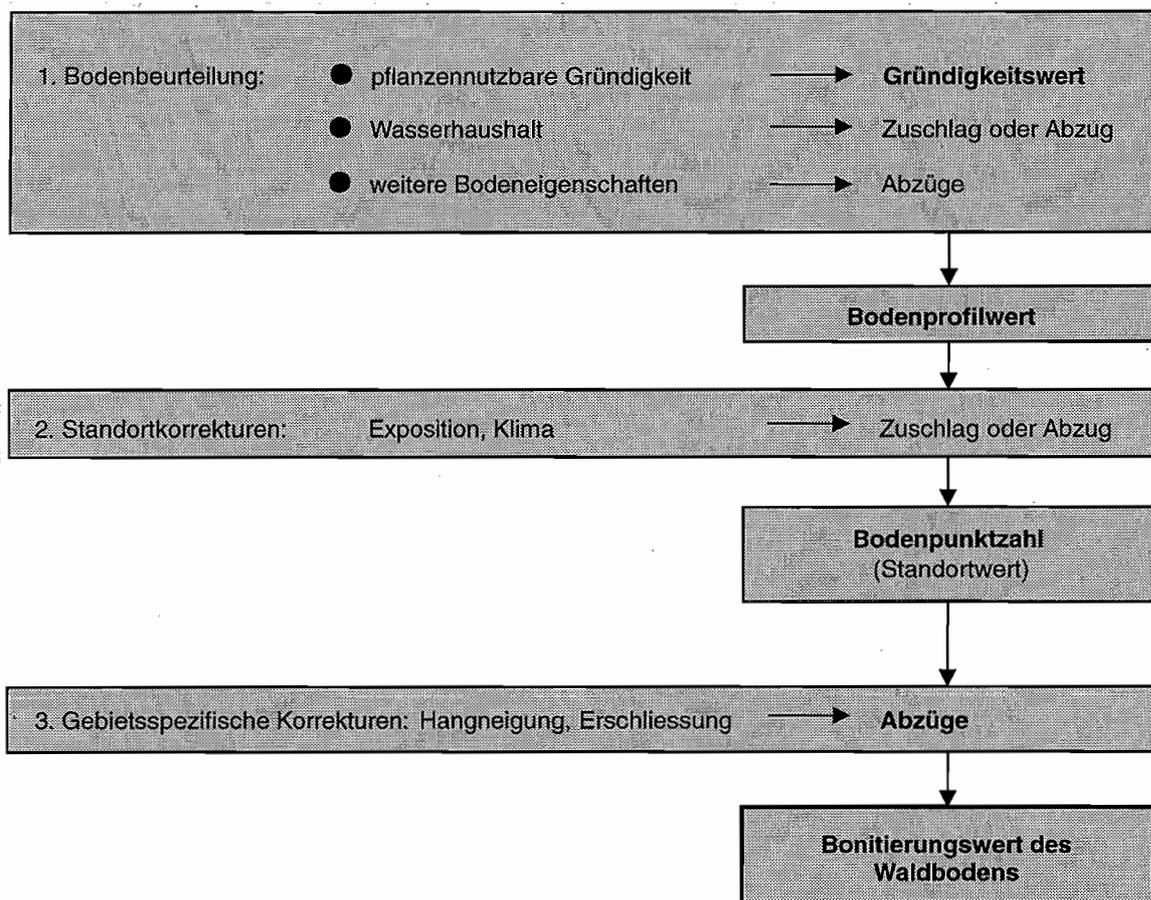


Abb. 31: Schematische Darstellung des Bewertungsablaufes von Waldböden

Aus bodenkundlicher Sicht ist im folgenden v.a. die Bodenbeurteilung zur Bestimmung des Bodenprofilwertes von Bedeutung.

9.6.3 Bestimmung des Bodenprofilwertes

Zur Begutachtung des Bodens werden an repräsentativen Stellen Profilgruben geöffnet und die Bodeneigenschaften aufgenommen. Wichtigste Kriterien sind dabei der Wasserhaushalt und die pflanzennutzbare Gründigkeit. Die Profilstandorte stellen die sog. **Klassenmuster** dar, nach denen der ganze Perimeter unterteilt und bewertet wird.

- **Pflanzennutzbare Gründigkeit**

Der Einstieg in die Punktierung geschieht über die pflanzennutzbare Gründigkeit. Entsprechend den Produktionsfähigkeitsstufen ist jedem Gründigkeitsbereich ein Wertebereich zugeordnet, wobei auf eine der in Tab. 25 dargestellten möglichen Bodenpunktzahlen gerundet werden soll.

Gründigkeitswert (Produktionsfähigkeitsstufe)

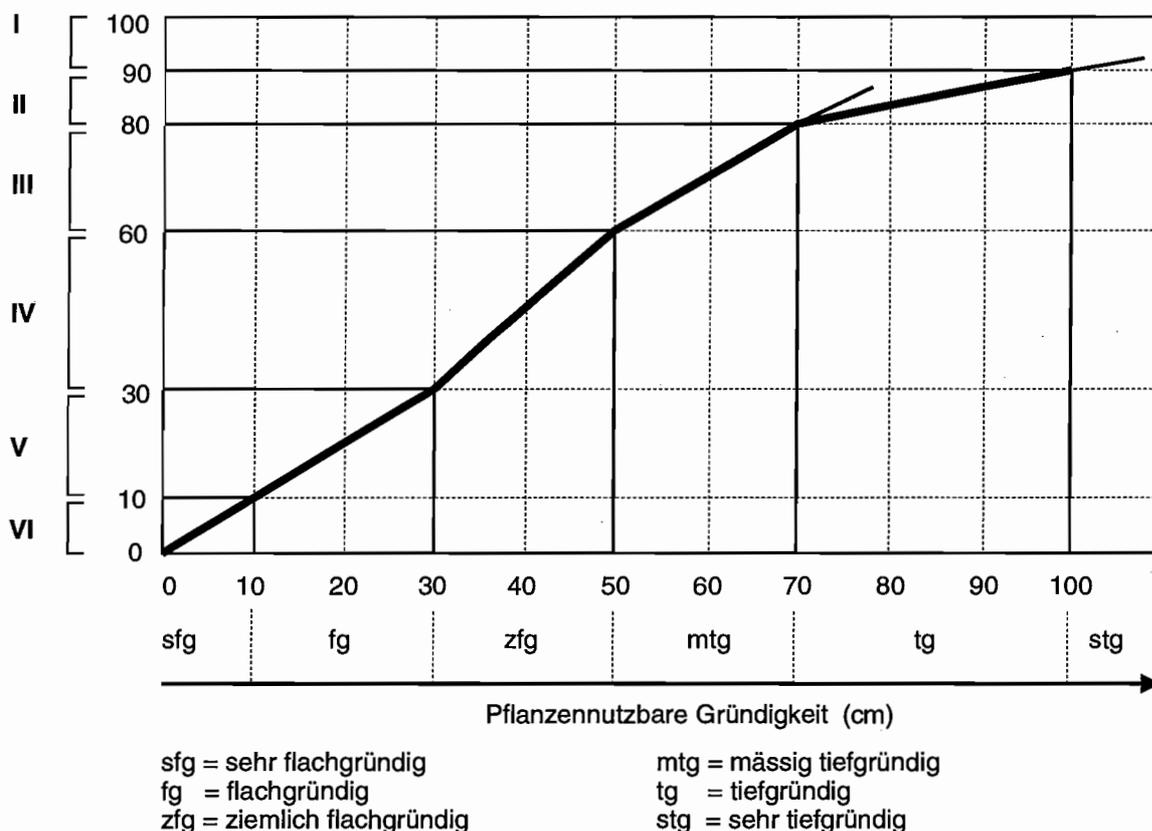


Abb. 32: Zusammenhang pflanzennutzbare Gründigkeit und Gründigkeitswert

- **Wasserhaushalt**

Je nach Beurteilung des Wasserhaushaltes wird, ausgehend vom Gründigkeitswert, ein Zuschlag oder ein Abzug vorgenommen. Da eine gute Wasserversorgung für das Baumwachstum generell förderlich ist, kommt es nur bei vernässten bis stark vernässten Böden zu Punktabzügen. Die Zuschläge oder Abzüge betragen normalerweise ein Drittel bis zwei Drittel eines Stufenwertbereiches.

Wasserhaushalt	Zuschlag, Abzug
• normal durchlässig, I1, G1, G2	+ 1/3 Stufe
• stauwasserbeeinflusst; I2	+ 1/3 Stufe
• grund-/hangwasserbeeinflusst; G3	+ 1/3 bis + 2/3 Stufe
• stauwassergeprägt, selten bis zur Oberfläche porengesättigt	bis + 1/3 Stufe
• stauwassergeprägt, häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	bis - 1/3 Stufe
• grund-/hangwassergeprägt selten bis zur Oberfläche porengesättigt	+ 1/3 bis + 2/3 Stufe
• grund-/hangwassergeprägt häufig bis zur Oberfläche porengesättigt	—
• grund-/hangwassergeprägt meist bis dauernd bis zur Oberfläche porengesättigt	- 1/3 Stufe

Tab. 26: Bewertung des Wasserhaushaltes

• Weitere Bodeneigenschaften

Wirken sich andere Bodeneigenschaften negativ auf das Baumwachstum aus, können weitere Abzüge vorgenommen werden:

- a) Körnung, Gefüge:
- schlecht durchlüfteter Bodenkörper
 - erschwerte Durchwurzelbarkeit
 - geringes Nährstoffspeichervermögen

(Abzüge nur vornehmen, wenn sie nicht schon bei der Berechnung der pflanzen-nutzbaren Gründigkeit berücksichtigt worden sind)

- b) Chemismus, Humus:
- durch Säure- oder Basenüberschuss sichtbar eingeschränkte biologische Aktivität
 - stark saurer Verwitterungshorizont ($\text{pH CaCl}_2 < 4,3$)
 - durch Humuszustand in Frage gestellte standortgerechte Verjüngung
- c) andere:
- z.B. mangelhafte Verankerungsmöglichkeit der Bäume bei anstehendem Fels.

Anmerkung:

Abzüge und Zuschläge können auch punktweise vorgenommen werden, doch soll schliesslich auf eine der 16 Bodenpunktzahlen gerundet werden (Tab. 25). Die Bewertung ist regionalen Gegebenheiten anzupassen.

9.6.4 Standortkorrekturen

Als Begrenzungsfaktoren bei der Bewertung können nicht nur Bodeneigenschaften, sondern auch andere Standortfaktoren wie Klima oder Exposition auftreten. Meist sind die Bewertungsperimeter nicht so gross, dass sie sich über mehrere Klimazonen erstrecken; sollte dies aber vorkommen, kann für einschränkende Klimaregionen das Maximum des Punkterahmens herabgesetzt werden. Häufiger sind Standortkorrekturen für Expositionsunterschiede nötig, welche sich v.a. bei den weniger gründigen Böden auswirken (vgl. 10.1, Beispiel Schlatt-Hofstetten).

9.6.5 Bodenpunktzahlkarte

Bei flächenhaften Bodenbewertungen können die Bodenpunktzahlen entweder direkt auf der Bodenkarte zu jeder Bodeneinheit angegeben oder es können auch spezielle Bodenpunktzahlkarten erstellt werden. Bodenbewertungen werden normalerweise im Wald im Massstab 1:5'000 durchgeführt, müssen aber für den Geometer auf den Massstab 1:1'000 vergrössert oder umgezeichnet werden.

9.7 Bodenkarten im Ingenieurwesen

Im technischen Bereich wird in der Forstwirtschaft für die Beurteilung der Bodeneigenschaften sowie der Eignung der Böden als Baugrund und Baustoff die Klassifikation der Bodenmechanik nach USCS (Unified Soil Classification System) angewandt. Das System beruht auf der Kornverteilung des Materials sowie dessen Plastizitätseigenschaften und organischen Bestandteilen.

Zur Unterteilung in der Bodenkunde bestehen diverse Unterschiede: So liegt etwa die Grenze zwischen Schluff-(Silt) und Sandfraktion in der Bodenmechanik bei 0.06 mm, in der Bodenkunde bei 0.05 mm. Bei der Angabe der Ton- und Schluffgehalte in Prozenten bezieht man sich in der Bodenmechanik immer auf die gesamte Bodenmasse inkl. Skelett(Kies)-Anteil, in der Bodenkunde hingegen nur auf die mineralische Feinerde (Material < 2,0 mm).

Die z.T. unterschiedlichen Kriterien erschweren die "technische" Umsetzung der Bodenkarten, doch ist es durchaus möglich, über die Angaben aus den Bodenkarten die Böden auch nach USCS grob zu klassieren und damit auch die Interpretationstabellen dieses Systems anzuwenden.

9.7.1 Befahrbarkeit

Bei der Planung von Walderschliessungen und Holzerntekonzepten spielt die Befahrbarkeit der Böden eine zentrale Rolle. Für die Beurteilung der Befahrbarkeit sind die Bodeneigenschaften (Tragfähigkeit) sowie die Hangneigung, Hindernisse und die Fahrzeugeigenschaften massgebend (Abb. 33).

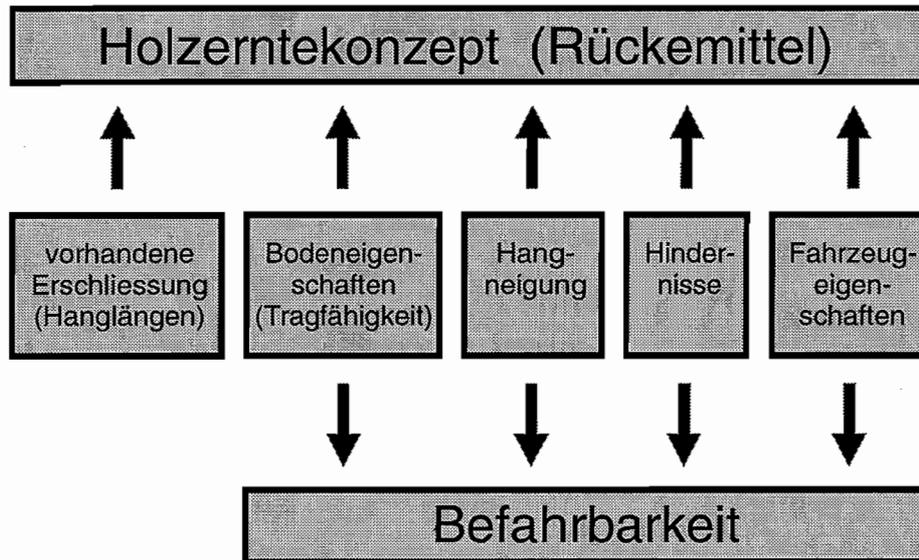


Abb. 33: Einflussfaktoren auf die Befahrbarkeit resp. auf das Holzerntekonzept (vereinfacht)

Gemäss Landesforstinventar (EAFV, 1988b) ist etwas mehr als ein Viertel der Schweizer Waldfläche gut befahrbar, wobei die Anteile im Mittelland mit 65% und im Jura mit 44% am grössten sind. In diesen Gebieten kommt heute meist das Rückemittelkonzept "Traktor im Bestand" zur Anwendung, das unter Berücksichtigung der entsprechenden Holzmengen somit eine recht grosse Bedeutung hat. Dabei wird der Waldboden entweder flächenhaft befahren (oft im Privatwald, wenn keine Seilwinde vorhanden ist), oder das Holz wird systematisch auf Rückegassen zur Waldstrasse gebracht. Heute nimmt auch die Bedeutung anderer Holzernteverfahren, bei denen Maschinen den Bestand oder die Rückgassen befahren, zu (Vollernter).

Wichtigste Bodenkennziffer für die Beurteilung der Befahrbarkeit der Böden ist die Scherfestigkeit. Die Scherfestigkeit kann auch als Bodentragfähigkeit bezeichnet und als CBR-Wert (California Bearing Ratio) mit einem Penetrometer gemessen werden. Die Tragfähigkeit der Böden charakterisiert die Gefügestabilität; sie ist neben Körnung, Skelettgehalt und organischer Substanz stark vom Wassergehalt abhängig.

Bodenkarten enthalten normalerweise keine direkten Angaben zur Tragfähigkeit (CBR-Wert), doch kann diese über den Skelettgehalt, die Körnung sowie die Einstufung zu einer bestimmten Wasserhaushaltsgruppe interpretiert werden. Untersuchungen im Moräne-Molassegebiet des schweizerischen Mittellandes zeigten, dass sog. hydrologisch erniedrigte Lagen, d.h. Böden mit einem zeitweisen oder dauernden Wasserspiegel oberhalb von 120 cm u.T., kritisch bis unmöglich zu befahren sind (EHRBAR, 1983). So kann die

Befahrbarkeit bereits ab der Vernässungsstufe I1, G2, vor allem nach längeren Niederschlägen, in den "kritischen" Bereich fallen. Diese Beurteilung umfasst nicht ein einmaliges Befahren einer Fläche, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass auf einer Rückegasse 50 Durchgänge ohne besondere Massnahmen möglich sind. Nassböden ab Vernässungsstufe I3, G4 (Braunerde-Pseudogleye, Braunerde-Gleye, Pseudogleye, Bunt- und Fahlgleye) sollten nicht mehr oder nur noch ausnahmsweise mit Spezialbereifung befahren werden. Rückegassenkonzepte sind hier unzweckmässig.

Die Tragfähigkeit spielt auch für die Oberbaudimensionierung im **forstlichen Strassenbau** eine wichtige Rolle. Bei Detailprojektierungen werden oft Untergrundtragfähigkeitsmessungen vorgenommen, um danach Abschnitte gleicher Tragfähigkeit resp. Oberbaudimensionierung auszuscheiden. Sind in einem Gebiet Bodenkarten vorhanden, können sie diesen wichtigen Arbeitsschritt wesentlich unterstützen (vgl. 10.3).

9.7.2 Bodenverdichtung

Die zunehmende Mechanisierung im Wald führt dazu, dass immer leistungsfähigere und schwerere Maschinen auch auf Rückegassen sowie auf der Bestandesfläche verkehren.

Gegenüber einwirkenden Kräften kann ein Bodengefüge einen mechanischen Widerstand (Tragfähigkeit) aufbringen. Sind die Druckbeanspruchungen zu gross, wird das Hohlraumsystem des Bodens verändert und es kommt zu sog. Sackungsverdichtungen. Bodenverdichtung bezeichnet also einen Vorgang, der zu einem geringeren Luft- und damit auch zu einem geringeren Wassertransportvermögen des Bodengefüges sowie zur Erhöhung des mechanischen Bodenwiderstandes führt.

Bodenverdichtungen haben Auswirkungen auf Bodentiere, Mikroorganismen und auf die Pflanzen selber. Vernässungsbedingter Sauerstoffmangel reduziert die Aktivitäten der Bodenmikroflora, anaerobe Stoffwechselprozesse nehmen zu. Pflanzen vermögen verdichtete Bodenschichten weniger intensiv zu durchwurzeln, zudem kann sich im sauerstoffarmen Milieu die Verfügbarkeit gewisser Nährstoffe verändern (WEISSKOPF et al., 1988).

Die Problematik der Bodenverdichtungen ist v.a. aus der Landwirtschaft bekannt, doch muss ihr auch in der Forstwirtschaft mehr Beachtung zukommen. Bohrungen aus Fahrspuren im Bestand oder aus Rückegassen zeigen in den obersten 10-20 cm vielfach eine grau-blaue Färbung. Solche schadverdichteten Zonen können von Keimlingen kaum mehr durchwurzelt werden. Da im Gegensatz zur Landwirtschaft im Walde keine Gefügelockerung (Bodenbearbeitung) stattfindet, muss mit langen Zeiträumen gerechnet werden, bis sich das Bodengefüge auf natürliche Weise wieder verbessert. Im Wald ist zudem die Frostwirkung geringer.

Die Verdichtungsanfälligkeit eines Bodens wird beeinflusst von der Körnung, dem Humusgehalt, dem Bodenfeuchtigkeitszustand sowie den Maschinenparametern der eingesetzten Rückemittel.

Schluff- oder feinsandreiche und humusarme Böden sind am stärksten verdichtungsgefährdet. Ganz erheblich wird die Verdichtungsgefährdung (analog der Gefügestabilität resp. Tragfähigkeit) vom Bodenfeuchtigkeitszustand (Wassergehalt) bestimmt.

Der durchschnittliche Bodenfeuchtigkeitszustand kann anhand der Vernässungsanzeichen der Böden beurteilt werden. WEISSKOPF (1988) entwickelte aus einer Kombination der Vernässungsanzeichen des Bodens mit dem direkten Klimaeinfluss den sog. Index der potentiellen Verdichtungsgefährdung. Aus Klimakarten und Bodenkarten lässt sich so die potentielle Verdichtungsgefährdung herleiten (Tab. 27, 28).

Stauwassereinfluss ¹	Fremdwassereinfluss ¹	----- Klimateignungszone ² ----- (Vegetationsdauer, Feuchtigkeitsregime)								
		AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	CD2	CD3	C4
		- Index der potentiellen Verdichtungsgefährdung ³ -								
-	≤ G 1	0	0	0	0	1	0	1	1	1
I 1	G 2	0	0	0	1	2	0	1	1	2
I 2	G 3	0	1	1	2	3	1	2	2	3
I 3	≥ G 4	1	2	2	3	4	2	3	3	4

- 1 Bezeichnungen gemäss "Klassifikation der Böden der Schweiz" (FAP, 1992a; vgl. auch Tab. 21)
- 2 Bezeichnungen nach der Klimateignungskarte der Schweiz (EJPD 1977a)
- 3 Interpretation nach Tabelle 28

Tab. 27: Beurteilung der potentiellen Verdichtungsgefährdung aufgrund von Vernässungsanzeichen des Bodens sowie von Klimadaten (aus WEISSKOPF et al., 1988)

Index	Verdichtungsgefährdung	Bedeutung für die Befahrbarkeit
0	kaum verdichtungsgefährdet	Boden selten längerfristig nass; meist mit geringem Verdichtungsrisiko befahrbar
1	leicht verdichtungsgefährdet	Boden hin und wieder längerfristig nass; Befahrungen selten mit erhöhtem Verdichtungsrisiko verbunden
2	mässig verdichtungsgefährdet	Boden manchmal längerfristig nass; zeitweise nur mit erhöhtem Verdichtungsrisiko befahrbar
3	stark verdichtungsgefährdet	Boden ziemlich häufig längerfristig nass; relativ oft nur mit erhöhtem Verdichtungsrisiko befahrbar
4	sehr stark verdichtungsgefährdet	Boden häufig längerfristig nass; häufig nur mit erhöhtem Verdichtungsrisiko befahrbar

Tab. 28: Interpretation des Indexes für die potentielle Verdichtungsgefährdung

10 Anwendungsbeispiele

10.1 Waldzusammenlegung Schlatt-Hofstetten (ZH)

Zielsetzung

Erarbeitung einer Bodenpunktzahlkarte als Grundlage für die gerechte Neuzuteilung der Grundstücke sowie einer Bodenkarte mit begleitenden Bewirtschaftungsempfehlungen als Arbeitsmittel für eine standortgemässe Waldnutzung.

Kartierungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen 530 und 880 m ü.M. und umfasst 710 ha Wald in stark kupiertem Gelände. Das geologische Ausgangsmaterial besteht aus Oberer Süsswassermolasse (Mergel, Sandsteine, vereinzelte Nagelfluhbänder). Die Jahresniederschläge betragen 1180 - 1320 mm, die Jahresmitteltemperatur liegt zwischen 6 - 8°C.

Arbeitsablauf

Nach der Geländebegehung durch den Kartierer wurden die Profilstellen festgelegt, anschliessend die Bodenprofile geöffnet, klassiert und bewertet. Bei der Auswahl spielten neben Ausgangsmaterial und Relief auch die Besitzverhältnisse eine Rolle. Extreme Steilhänge und Tobel wurden nicht mit Profilen abgedeckt, da hier der Bonitierenswert massgebend von der Hangneigung bestimmt wird. Die Bewertung der einzelnen Klassenmuster wurde mit der Bonitierungskommission besprochen und die definitiven Werte (Standortwerte) im Bodenpunktzahlverzeichnis festgehalten. Bei dieser Feldbegehung wurden auch Oberhöhen gemessen und mit dem Standortwert verglichen sowie Standortkorrekturen vorgenommen. Danach erfolgte die Kartierung auf Plänen im Massstab 1:5'000 mit gleichzeitiger Bewertung der Teilflächen. Das Verzeichnis der Klassenmuster wurde durch die während des Kartierens neu hinzutretenden Böden laufend ergänzt. Diese "neuen" Böden wurden wie die Klassenmuster bewertet und die Punktzahlen in die Feldkarte sowie in die Arbeitslegende eingetragen.

Die separate Bodenpunktzahlkarte (Bodenprofilwerte plus Zuschlag oder Abzug) diente dem zuständigen Geometer sowie der Bonitierungskommission als Arbeitsgrundlage für die Bonitierung. Die Kommission beurteilte in einem weiteren Schritt Hangneigung, Waldrand-, Erschliessungs- und Rückeverhältnisse und legte danach den definitiven Bonitierenswert der Parzellen fest. In den im Molassegebiet häufig vorkommenden Komplexeinheiten wurde auf der Bodenpunktzahlkarte das Punktespektrum sowie ein über die geschätzten Flächenanteile gewichteter Mittelwert angegeben; die Einfärbung der Komplexeinheiten erfolgte nach dem dominierenden Boden.

Bodenprofil EE 573: Stauwassergeprägter, selten bis zur Oberfläche porengesättigter, mässig tiefgründiger Boden

Lage: Langriet; 730 m ü.M., flache Kuppe, südostexponiert

Ausgangsmaterial: Mergel (Obere Süßwassermolasse)

Bodenkarte Einheit oY3: BRAUNERDE-PSEUDOGLEY, neutral bis schwach sauer, kompakt, skelettarm, lehmiger Ton bis Ton

Produktionsfähigkeit: gut (III)

Horizont	Profil	Beschreibung				
Ol		Streuauflage				
Ah(g) 0-16cm		Graugelblich-brauner Humushorizont, leicht vernässt (Rostflecken), skelettfrei, mittelkrümeliges bis feinpolyedrisches Gefüge, neutral				
Bg 16-43cm		Leicht vernässter, fahlgelb-bräunlicher Verwitterungshorizont, skelettarm, mittel- bis grobprismatisches Gefüge, schwach alkalisch				
Bgg 43-70cm		Fahlgelb-bräunlicher bis grauer, vernässter Verwitterungshorizont, skelettarm, grobprismatisches bis unstrukturiertes mittelfestes Gefüge, wenig durchwurzelt, schwach alkalisch Entkarbonatungsgrenze				
BCgg 70-130cm		Gelbgrauer, vernässter Übergangshorizont, skelettarm, unstrukturiertes Gefüge, karbonatreich				
Analysenwerte						
Tiefe cm	org. Subst. Gew. %	Ton Gew. %	Schluff Gew. %	Sand Gew. %	Kalk- gehalt	pH-Wert (CaCl ₂)
0 - 16	5,1	45	33	22	-	6,1
16 - 43	-	27	37	36	-	7,5
43 - 70	-	50	34	16	-	7,4
70 - 130	-	42	47	11	karbonat- reich	7,8

Abb. 34: Beispiel eines Klassenmusters

- **Bodenverhältnisse**

Beste Waldböden findet man in Mulden, an flacheren Unterhängen und auf Plateaus. In Mulden und Hangfusslagen handelt es sich dabei meist um tiefgründige bis sehr tiefgründige, schwach gleyige bis gleyige Braunerden; in Plateaulage um tiefgründige schwach pseudogleyige saure bis stark saure Braunerden.

Auf Kuppen und in Steilhängen, welche der Erosion stark ausgesetzt sind, befinden sich häufig flachgründige z.T. zu Trockenheit neigende Böden.

Die im Kartierungsgebiet sehr häufigen Mergelböden sind durch gehemmte Wasserdurchlässigkeit geprägt. Je nach Bodenentwicklungsgrad und Reliefform sind diese Standorte wechsellössig bis wechsellössig.

Gleyböden findet man häufig im Umkreis von Wasseraustritten, in Mulden von Rutschgebieten oder an Hangfusslagen.

Boden- einheit	Eignungs- einheit	Bodenbeschreibung (Standardprofile; Produktionsfähigkeitsstufe)
SENKRECHT DURCHWASCHENE BÖDEN		
Senkrecht durchwaschene, normal durchlässige Böden: sehr tiefgründig und tiefgründig		
aB1	(B)	BRAUNERDE, schwach sauer bis sauer; skelettarm über skeletthaltig, Lehm; sehr tiefgründig (Standardprofil EE 524; Produktionsstufe I)
aB2	(A)	BRAUNERDE, schwach pseudogleyig; skelettarm, Lehm über tonigem Schluff; sehr tiefgründig (I)
aB3	(B)	BRAUNERDE, schwach sauer, tonhüllig, grundfeucht; skelettarm, sandiger Lehm über Lehm; sehr tiefgründig (EE 507; I)
aE1	(C)	SAURE BRAUNERDE, grundfeucht; skelettarm, sandiger Lehm; sehr tiefgründig (EE 503; I)
bB1	(B)	BRAUNERDE, schwach sauer; skelettarm über skelettreich, Lehm über tonigem Lehm; tiefgründig (II)
bB2	(B)	BRAUNERDE, schwach sauer; skelettarm über skeletthaltig, Lehm über sandigem Lehm; tiefgründig (II)
STAUWASSERGEPRÄGTE BÖDEN		
Stauwassergeprägte, selten bis zur Oberfläche porengesättigte Böden: tiefgründig, mässig tiefgründig und ziemlich flachgründig		
oY1	(P)	BRAUNERDE-PSEUDOGLEY, neutral; skelettfrei bis skelettarm, toniger Lehm über lehmigem Schluff; mässig tiefgründig (EE 522; III-II)
oY2	(P)	BRAUNERDE-PSEUDOGLEY, neutral; skeletthaltig, toniger Lehm über lehmigem Schluff; mässig tiefgründig (III)

Tab. 30: Auszug Bodenkarten-Legende Schlatt-Hofstetten

• **Beurteilung der waldbaulichen Eignung**

Die Einteilung der Waldböden in insgesamt 24 waldbauliche Eignungseinheiten (A -X) erfolgte aufgrund der Bodeneigenschaften unter zusätzlicher Berücksichtigung von Exposition und Lage. Die Standorteinheiten wurden nach Produktionsfähigkeit gegliedert und beschrieben (Tab. 31) und in einem Oekogramm eingetragen (Abb. 35).

Eignungseinheit	Bodeneinheiten	Standortcharakterisierung	Einschränkungen/ Massnahmen	Geeignete Baumarten
STANDORTE MIT SEHR GUTER BIS AUSGEZEICHNETER PRODUKTIONSFÄHIGKEIT				
A	aB2, bB3 bB4, bB5	- neutral bis schwach sauer - frisch bis mässig feucht - mittelschwere Böden, z.T. leicht stauend - tiefgründig bis sehr tiefgründig - vorwiegend Flachhänge	keine Einschränkungen Edellaubholzstandort	BAh, SAh, Es, Ki, BUI, SEI, WLi, Bu, REI Fi, Ta, Do, (Lä)
B	aB1, aB3 aB4, bB1 bB2	- schwach sauer bis sauer (aB4 z.T. neutral) - frisch (z.T. grundfeucht) - mittelschwere, z.T. leicht sandige Böden - tiefgründig bis sehr tiefgründig - Flachhänge, Kuppen, Plateaus	saure Streuauflage vermeiden Fichtenanteil einschränken	Bu, Es, SEI, TEI, Ki, WLi HBu, REI Fö, Lä, (Fi, Ta, Do)
C	aE1, bE3, bE4,	- sauer bis stark sauer - frisch bis mässig feucht - mittelschwere Böden, z.T. leicht sandig - tiefgründig bis sehr tiefgründig - vorwiegend flach auslaufende Hangfüsse	saure Streuauflage vermeiden Fichtenanteil einschränken	Bu, TEI, REI, (SEI, Es, WLi, Ki, VBe) Fi, Ta, Do
STANDORTE MIT MÄSSIGER BIS GERINGER PRODUKTIONSFÄHIGKEIT				
S	dK1, d02 d03, d04	- karbonatreich bis neutral - trocken - Unterboden skelett- oder sandreich - ziemlich flachgründig bis flachgründig - Verlust- und Rutschlagen	beschränkte pflanzen- nutzbare Gründigkeit keine trockenheitsempfindlichen Baumarten	Bu, TEI, (BAh, SAh, Ki, MBe) Fö
U	dT1	- sauer - mässig trocken bis trocken - erodiert, z.T. modrighumos, Unterboden schwer; Übergangsboden, zwischen Schotter und Mergel - ziemlich flachgründig - vorwiegend erosionsanfällige Kuppen	beschränkte pflanzen- nutzbare Gründigkeit keine trockenheitsempfindlichen Baumarten saure Streuauflage vermeiden	TEI, Bu, HBi, (HBu, WLi, VBe, Fö, (Lä)
W	xG1, xG2 xG3, xG4	- kalkreich bis neutral - stark grundnass - z.T. anmoorig - ziemlich flachgründig, z.T. bis mässig tiefgründig - vorwiegend Hangmulden	sehr starker Grund-Hang- wassereinfluss meist bis in den Oberboden schlecht durchlüftet	SEr, Es, (TKi, SEI, HBu) Ta

Tab. 31: Auszug Beschreibung waldbauliche Eignungseinheiten unterhalb 700 m ü.M (Schlatt-Hofstetten)

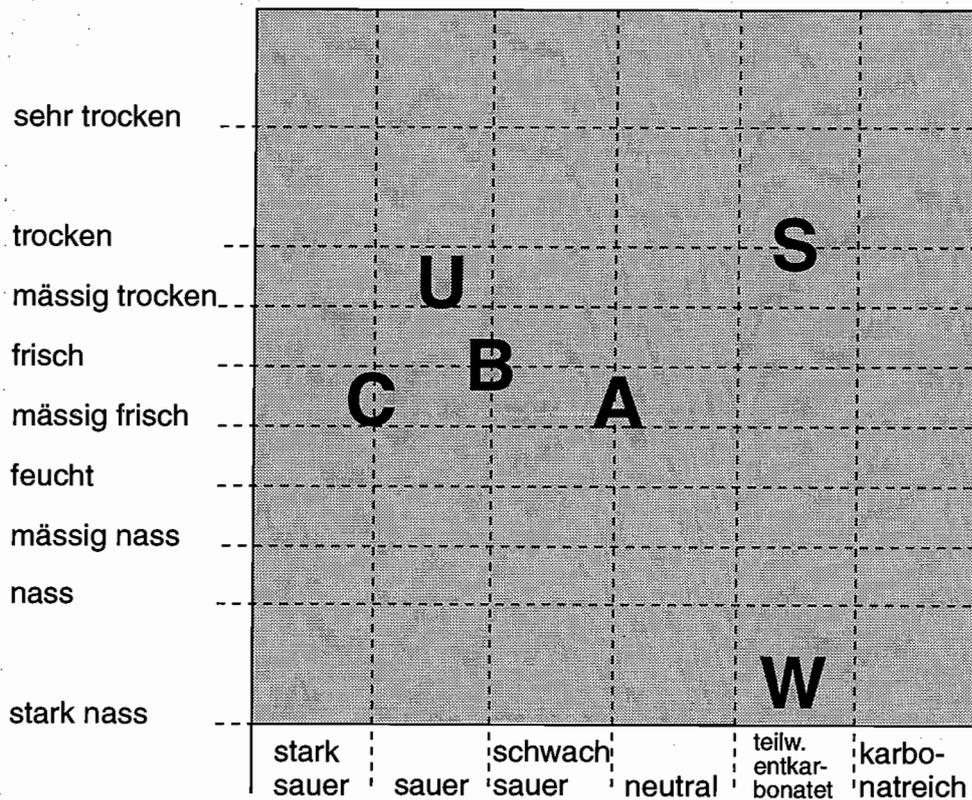


Abb. 35: Oekogramm der waldbaulichen Eignungseinheiten (Auszug; Grossbuchstaben vgl. Tab. 31)

Auf eine spezielle Anfertigung einer Eignungskarte wurde verzichtet. Da aber jede Bodeneinheit einer Eignungseinheit zugeordnet ist (vgl. Tab. 31), kann die Bodenkarte direkt als Eignungskarte benutzt werden.

10.2 Kiesabbau Solenberg (SH)

Zielsetzung

Erarbeitung objektiver landschaftsökologischer Entscheidungsgrundlagen (Umweltverträglichkeitsprüfung) im Zusammenhang mit einer möglichen Erweiterung des Kiesabbaugebietes im Auftrag der Kieswerke Solenberg AG. Aufnahme des Ist-Zustandes sowie Würdigung als Forststandort. Empfehlung für Abbau und Rekultivierungsmassnahmen.

Kartierungsgebiet

Sanftes, durch Moränenwälle gegliedertes Hügelrelief. Das geologische Ausgangsmaterial besteht aus würmeiszeitlicher Grundmoräne des Rhein-Bodenseegletschers. "Mässig trockene" Klimaverhältnisse (Klimazone A2) mit durchschnittlichen Jahresniederschlägen von ca. 900 mm.

Arbeitsablauf

Im 50 ha umfassenden Perimeter wurden an insgesamt vier repräsentativen Stellen Bodenprofile geöffnet und dokumentiert. Abgrenzung der Bodeneinheiten mit Bohrfahrzeug- resp. Handbohrungen und Eintrag auf Plangrundlagen im Massstab 1:2'000.

Resultate

• Bodenverhältnisse

Innerhalb des Untersuchungsgebietes dominieren tiefgründige, normal durchlässige Parabraunerden (Abb. 36). Sie finden sich vor allem in wenig exponierten Hang- und Plateaulagen.

Auf exponierten Kuppen ist die Bodenmächtigkeit durch Erosionsprozesse deutlich geringer. Entsprechende Parabraunerden sind deshalb nur mässig tiefgründig. Weitere Bodentypen solcher Lagen sind Kalkbraunerden und Braunerden. In Muldenlagen (Akkumulationslagen) entwickelten sich sehr tiefgründige, lockere Parabraunerden.

Legende Bodenkarte Solenberg (SH)										
Boden-Einheit	Bodentyp	Untertyp	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Feinerde-körnung	Skelettgehalt	Wasser- und Nährstoffspeichervermögen	Produktionsfähigkeit	Relief- und Geländeform	Flächenanteil	
									ha	%
1	PARABRAUNERDE	locker, sauer	sehr tiefgründig (> 100 cm)	sandiger Lehm (über Lehm)	skelettfrei bis skelettarm	sehr gross	ausgezeichnet	Muldenlagen (z.T. auch Plateaulagen)	7,1	14,3
2	PARABRAUNERDE (auf tonig schluffigen, mergelartigen Sedimenten)	schwach pseudogleyig, schwach sauer bis sauer	↑	sandiger Lehm über Lehm	skelettfrei bis skelettarm	gross	ausgezeichnet bis sehr gut	Muldenlagen	5,1	10,4
3	PARABRAUNERDE	sauer	tiefgründig (70-100 cm)	sandiger Lehm über Lehm bis toniger Lehm	skelettarm bis skeletthaltig	gross	sehr gut	Plateau- und Hanglagen	22,1	44,7
4	PARABRAUNERDE	mässig erodiert, sauer (z.T. mässig tiefgründig)	↓	sandiger Lehm über Lehm bis toniger Lehm	skeletthaltig	gross bis mittel	sehr gut bis gut	Steilhang- und sanfte Konvexlagen	4,9	9,9
5	PARABRAUNERDE	erodiert, schwach sauer (stellenweise ziemlich flachgründig)	↑	sandiger Lehm über tonigem Lehm	skeletthaltig	mittel	gut	exponierte Kuppenlagen	8,1	16,3
6	BRAUNERDE	teilweise enkarbonatet	mässig tiefgründig (50-70 cm)	sandiger Lehm	skeletthaltig	mittel	gut	exponierte Hang- und Konvexlagen (Rücken)	1,3	2,7
7	KALKBRAUNERDE		↓	sandiger Lehm	skeletthaltig	mittel	gut	dito	0,4	0,9
8	REGOSOL	karbonatreich verbraunt	ziemlich flachgründig (30-50 cm)	sandiger Lehm	skeletthaltig bis skelettreich	klein	mässig gut	stark exponierte Kuppenlagen	0,5	0,9

Tab. 32: Beschreibung der Bodeneinheiten Solenberg ("anwendungsorientierte" Gestaltung der Legende)

Bodenprofil Sh 500: Normal durchlässiger, tiefgründiger Boden

Lage: Büsingen, Solenberg; 483 m ü.M., Plateau
 Ausgangsmaterial: Würm-Moräne
 Boden: PARABRAUNERDE, sauer, skelettarm bis skeletthaltig, sandiger Lehm über Lehm, Bodeneinheit 3

Horizont	Profilskizze	Beschreibung
Of Ah		0-6cm Dunkelbraune Mull-Humusschicht mit geringmächtiger Moderauflage. Humoser sandiger Lehm, skelettarm, krümeliges Gefüge, sauer.
AE		6-30cm Gelbbraune Verwitterungsschicht mit sichtbarer materieller Verarmung (Tonauswaschungshorizont). Humusarmer sandiger Lehm, skelettarm, krümeliges bis feinpolyedrisches Gefüge, sauer.
lt, cn		30-80cm Rötlichbraune Verwitterungsschicht mit Toneinschwemmung und Konkretionen. Lehm, skelettarm bis skeletthaltig, feines Polyedergefüge, sauer.
		80-95cm Braune Verwitterungsschicht mit sehr schwachen Veräussungsanzeichen. Lehm, skeletthaltig, Polyedergefüge, neutral.
B (g) C		>95cm Kaum verwittertes Ausgangsmaterial (Würm-Moräne, karbonatreich). Sandiger Lehm, skelettreich, alkalisch.

Analysenwerte

Tiefe cm	org.Subst. %	Ton %	Schluff %	Sand %	Kalkgehalt	pH-Wert (CaCl ₂)
0 - 6	6,2	16	42	42	-	4,5
6 - 30	1,3	20	31	49	-	4,2
30 - 80		29	27	44	-	4,2
80 - 95		26	25	49	-	6,3

Tauschbare Kationen (BaCl₂ - Austausch, ohne Na⁺)

Horizont	Tiefe cm	H ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Kationen-tauschkapazität	Basensättigung ¹ %
		(mval / 100g Feinerde)					
Ah	0 - 6	6,80	4,03	0,62	0,24	11,69	41,8
AE	6 - 30	6,16	1,12	0,33	0,08	7,69	19,9
lt,cn	30 - 80	8,24	3,38	1,10	0,12	12,84	35,8
B(g)	80 - 95	2,96	10,56	0,91	0,08	14,51	79,6

1 %-Anteil der Nährstoff-Kationen (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) an der Austauschkapazität

Abb. 36: Repräsentatives Profil der häufigsten Bodeneinheit

- **Beurteilung der forstwirtschaftlichen Eignung**

Die acht auf der Karte ausgeschiedenen Bodeneinheiten können für die Beurteilung der forstwirtschaftlichen Eignung zu vier Standorteinheiten zusammengefasst werden.

Standorteinheit A (Bodeneinheiten Nr. 1, 2)

In dieser Einheit sind die besten Standorte von sehr guter bis ausgezeichneter Produktionsfähigkeit zusammengefasst. Fast ausschliesslich handelt es sich um Muldenlagen, die in Bezug auf Wasser- und Nährstoffversorgung als "Gewinnlagen" bezeichnet werden können (frische Standorte). Die Böden sind schwach sauer. Für die Baumartenwahl hat man hier uneingeschränkte Möglichkeiten. Sämtliche einheimischen sowie die üblichen Gastbaumarten können angebaut werden.

Standorteinheit B (Bodeneinheiten Nr. 3, 4)

Diese Einheit umfasst die tiefgründigen (stellenweise mässig tiefgründigen), sauren, typischen Parabraunerden, die über die Hälfte des Gebietes bedecken. Meist handelt es sich um Plateau- oder Hanglagen ("ausgeglichene" Lagen) von guter bis sehr guter Produktionsfähigkeit. Vom Boden her gesehen sind grundsätzlich die meisten Baumarten geeignet. In Anbetracht des relativ trockenen Klimas sind hier aber Arten mit hohen Ansprüchen an die Wasserversorgung (z.B. Tanne, Ulme, Esche) bereits limitiert.

Standorteinheit C (Bodeneinheit Nr. 5)

Dieser Standort, der vor allem Kuppenlagen umfasst ("Verlustlagen"), ist als trocken sowie schwach sauer bis sauer zu charakterisieren. Die grösste Einschränkung der Böden bildet das geringe bis mittlere Wasserspeichervermögen (ca. 50 Liter/m² leicht verfügbares Wasser). In den Sommermonaten können hier Perioden mit ungenügender Wasserversorgung das Baumwachstum hemmen. Von den einheimischen Baumarten eignen sich vor allem Buche, Traubeneiche und Föhre. Besonderes Augenmerk sollte auf einen bodenpflegenden Nebenbestand (z.B. mit Hagebuche) gerichtet werden: Eine dauernde Bodenbedeckung vermindert die Austrocknung; zudem fördert leicht abbaubare Streu die biologische Bodenaktivität.

Standorteinheit D (Bodeneinheiten Nr. 6, 7, 8)

Im Gegensatz zur oben beschriebenen Einheit sind diese Böden im Oberboden noch neutral bis karbonatreich. Ansonsten handelt es sich auch hier um mässig tiefgründige, exponierte Hang- und Kuppenlagen mit nur geringem bis mittlerem Wasserspeichervermögen als Hauptlimitierungsfaktor für ein optimales Baumwachstum. Auch hier eignen sich Baumarten, die eine gewisse Sommertrockenheit ertragen, wie Buche, Traubeneiche und Föhre.

• **Abbau und Rekultivierung**

Eine sorgfältige Abbauplanung ist Grundlage jeder erfolgreichen Rekultivierung. Diese hat u.a. zum Ziel, rekultivierte Areale zu schaffen, welche hinsichtlich des Ertragspotentials (Produktionsfähigkeit) sowie der Nutzungsmöglichkeiten (Baumartenwahl) mindestens dem ursprünglichen Zustand entsprechen. Davon ausgenommen sind mögliche Flächen mit spezieller Naturschutzfunktion. Für das Projektgebiet sollte die Mächtigkeit des Unterbodens also mindestens 80-100 cm betragen. Dies entspricht zusammen mit dem Oberboden (ca. 20 cm) einem tiefgründigen Standort.

Bei der Wiederbepflanzung ist darauf zu achten, dass für eine erste Baumgeneration ausschliesslich Lichtbaumarten mit möglichst bodenpflegender Wirkung verwendet werden. Einerseits sollte der Boden intensiv und tief durchwurzelt werden, andererseits sollte die Streu gut abbaubar sein. Von den einheimischen Pionierbaumarten vermögen alle mindestens eine dieser Bedingungen zu erfüllen.

Am geeignetsten sind deshalb Mischbestände verschiedenster Arten wie Birke, Weisslerle, Aspe, verschiedene Weiden, Föhre, Lärche. Alle Arten gedeihen nur auf lockeren Böden optimal, was die Bedeutung einer sorgfältigen Rekultivierung unterstreicht. Unter dem Schirm dieser ersten Baumgeneration, sei es als **Vorwald** oder **Vorbau**, können anspruchsvollere Baumarten nachgezogen werden.

Für die technischen Massnahmen der Wiederherstellung und Aufforstung des Geländes sei auf die Richtlinien des FSK (1991) hingewiesen.

10.3 Melioration Jens-Merzligen (BE)

Zielsetzung

Untersuchung der Untergrundverhältnisse sowie Ausarbeitung von Oberbauvarianten für das projektierte Wald- und Güterstrassennetz der Melioration Jens-Merzligen.

Gebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Talebene mit feinkörnigen Alluvionen (Tone, Schluffe) sowie Hanggebiete mit feinkörniger Molasse (Sandsteine, Mergel) als Ausgangsmaterialien.

Grundlagen

Wegausbauplan 1:5000 mit eingezeichnetem Strassennetz; Bodenkarte 1:5000.

Arbeitsablauf

Aufgrund der Bodenkarte wurden die Stichprobenpunkte für die Tragfähigkeitsmessungen festgelegt (ca. 70 Proben). Danach konnten die Tragfähigkeitswerte den einzelnen auf der Bodenkarte ausgeschiedenen Bodeneinheiten zugeordnet werden (Tab. 33). Die Bildung von Strassenabschnitten für die Dimensionierung erfolgte wiederum mit Hilfe der Bodenkarte. Für die Dimensionierung des Oberbaues wurde die aus dem AASHO-Strassentest für Strassen mit geringem Verkehr abgeleitete Dimensionierungsmethode angewandt (BURLET, 1980).

Resultate

Die Böden im Untersuchungsgebiet konnten hinsichtlich Tragfähigkeit zwei Klassen zugeordnet werden.

- Tragfähigkeitsklasse 1

Die Böden der Tragfähigkeitsklasse 1 bestehen vorwiegend aus Tonen mittlerer bis hoher Plastizität (USCS: CL und CH). Der natürliche Wassergehalt ist hoch (20 bis 36%), dementsprechend gering ist ihre Tragfähigkeit. Im Felde wurden mit dem Handpenetrometer Tragfähigkeitswerte von 0,5 bis 2,5% CBR ermittelt.

Die Böden schlechter Tragfähigkeit liegen vorwiegend in der Alluvialebene. Zur Hauptsache handelt es sich um **grundwassergeprägte Nassböden** (Braunerde-Gleye, Bunt- und Fahlgleye), vereinzelt um stauwassergeprägte Nassböden (Braunerde-Pseudogleye) und nur selten um Braunerden oder Kalkbraunerden.

Für die Dimensionierung des Oberbaues der Strassen wurde die Tragfähigkeit des Untergrundes in dieser Tragfähigkeitsklasse auf 1% CBR festgelegt.

- Tragfähigkeitsklasse 2

Bei den Böden dieser Klasse handelt es sich zum grössten Teil um schwach plastische Feinsande (USCS: SC - CL und SM - ML). Die Feinsande sind mit einem natürlichen Wassergehalt von 11 - 15% ziemlich trocken und haben eine relativ gute Tragfähigkeit. Mit dem Handpenetrometer wurden Tragfähigkeitswerte von mehr als 4% CBR gemessen.

Die Böden relativ guter Tragfähigkeit liegen vorwiegend in den Hanglagen. Es handelt sich hauptsächlich um **Braunerden**, z.T. um Kalkbraunerden.

Für die Dimensionierung des Oberbaues der Strassen wurde die Tragfähigkeit des Untergrundes in dieser Tragfähigkeitsklasse auf 5% CBR festgelegt.

Nr. ¹	Boden	Lage	Tragfähigkeitswerte ²	USCS-Klassifikation	Tragfähigkeitsklasse
5	BRAUNERDE; schwach pseudogleyig, skelettarm, Lehm	Terrasse	4.1, 6.7, >10	SM-ML	2
6	BRAUNERDE; schwach pseudogleyig, skelettarm, sandiger Lehm	Talebene	5.5, 6.2, 3.0, 9.1	SM-ML bis SC-CL	2
10	BRAUNERDE; schwach gleyig, skelettarm, sandiger Lehm	Talterrasse	5.5, 6.0, 2.3, 6.9, 3.0	SM-ML bis SC-CL	2
13	BRAUNERDE; gleyig, skelettarm, Lehm bis lehmiger Schluff	Talterrasse	6.9, 4.5, 7.4, 5.7	SM-ML	2
26	PSEUDOGLEY; skelettarm, lehmiger Ton	Talebene	2.3	CL	1
28	BRAUNERDEGLEY; skelettarm, Lehm bis toniger Lehm	Talebene	2.1, 0.8, 1.9, 2.8, 1.6	CL	1
32	BRAUNERDEGLEY; skelettarm, sandiger Lehm	Talebene	1.7, 0.9, 0.9, 1.9	CL	1
34	BUNTGLEY; skelettarm, lehmiger Schluff	Talebene	1.8, 1.3, 2.0, 4.0, 1.4, 2.3, 2.4, 1.6, 2.6	CL-CH	1
35	BUNTGLEY; skelettarm, lehmiger Ton	Talebene	2.3, 0.6, 1.0, 1.2, 1.0	CL	1

1 Legende Bodenkarte

2 Mittlere CBR-Werte pro Stichprobe

Tab. 33: Bodentragfähigkeit der häufigsten Bodeneinheiten

Literaturverzeichnis

- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland, 3. Auflage, Hannover.
- ARBEITSGRUPPE BODENZUSTANDSINVENTUR DER ÖBG (1989): Bodenzustandsinventur. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1980): Forstliche Standortsaufnahme, 4. Auflage, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- BABEL, U. (1971): Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern. Geoderma, Bd. 5, Nr. 4: 297 - 324.
- BGS (1988): Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz: Boden - bedrohte Lebensgrundlage? Sauerländer, Aarau.
- BURLET, E. (1980): Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau. Diss. Nr. 6711 Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.
- BUWAL (1993): Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Vor lauter Bäumen den Wald doch noch sehen: Ein Wegweiser durch die neue Waldgesetzgebung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 210.
- DÄLLENBACH, F., KUHN, S. (1993): Erosionsrisikokartierung Massstab 1:25'000. Eine Anwendung der Universal Soil Loss Equation (USLE) unter Einbezug der Bodenkarte Zurzach für das Gebiet Zurzach-Koblentz-Klingnau (AG). Diplomarbeit am Geograph. Institut der Univ. Bern.
- EAFV (1988a): Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen. Düngung - Eine Perspektive für den Schweizer Wald? Sanasilva-Tagungsbericht.
- EAFV (1988b): Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz: Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der Erstaufnahme 1982 - 1986. Ber. 305.
- EHRBAR, R. (1983): Tragfähigkeit von Waldböden im nordöstlichen schweizerischen Mittelland (Obere Süsswassermolasse). Diss. Nr. 7273 Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

- ELLENBERG, H. (1967): Vegetations- und bodenkundliche Methoden der forstlichen Standortkartierung. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, Heft 64.
- ELLENBERG, H., KLÖTZLI, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Mitt. 48, 4: 589 - 930.
- EJPD (1980): Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Eidg. Volkswirtschaftsdepartement, Eidg. Departement des Innern: Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000.
- EJPD (1977a): Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Eidg. Volkswirtschaftsdepartement: Klimateignungskarten für die Landwirtschaft in der Schweiz 1:200'000.
- EJPD (1977b): Eidg. Justiz- und Polizeidepartement: Wärmegliederung der Schweiz 1:200'000.
- FAP (1986): Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz: Bodenkarte Wohlen mit Erläuterungen. Landeskarte der Schweiz 1:25'000 Blatt 1090.
- FAP (1992a): Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz: Klassifikation der Böden der Schweiz. Neu bearbeitet in der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS) von K. Peyer und E. Frei.
- FAP (1992b): Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz: Bodenkarte Laufenburg mit Erläuterungen. Landeskarte der Schweiz 1:25'000 Blatt 1049
- FREI, E., PEYER, K. (1991): Boden - Agrarpedologie. Haupt, Bern.
- FSK (1991): Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies: Wald und Kiesabbau. Richtlinien für die Aufforstung von Kiesgruben.
- KÖSTLER, J.N., BRÜCKNER, E., BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Parey, Hamburg und Berlin.
- LEIBUNDGUT, H. (1981): Die natürliche Waldverjüngung. Haupt, Bern.
- LESER, H., KLINK, H.-J. (1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25'000. Forschung zur deutschen Landeskunde Bd. 228. Zentralkommission für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.

- LÜSCHER, P. (1991): Humusbildung und Humusumwandlung in Waldbeständen. Diss. Nr. 9572 Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.
- MOSIMANN, T. et al. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. Ein Leitfa-
den für die Bodenerhaltung. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes
"Nutzung des Bodens in der Schweiz". Liebefeld - Bern.
- MÜLLER, M., ZIHLMANN, U. (1987): 10 Jahre Bodenkartierung 1:25'000. Bulletin
der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz Nr. 11: 25 - 30.
- RICHARD, F. et al. (1978): Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz, Bd.
1. Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf.
- SCHNEIDER, S. (1974): Luftbild und Luftbildinterpretation. Walter de Gruyter, Berlin.
- WEISSKOPF, P. et al. (1988): Die Verdichtungsgefährdung schweizerischer Ackerbö-
den. Bericht 20 des Nationalen Forschungsprogrammes "Nutzung des Bodens in der
Schweiz". Liebefeld - Bern.