

Fa Bo

Fachstelle Bodenschutz
Kanton Zürich

**Amt für Gewässerschutz
und Wasserbau**

**Direktion der
öffentlichen Bauten**

Abklärung des Handlungsbe- darfs bezüglich der Nutzung von organischen Böden im Kanton Zürich



EWI Ingenieure + Berater
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG
CH - 8034 Zürich

Projektbegleitung:

Fachstelle Bodenschutz
P. Schreiber / S. Isler
8090 Zürich

Projektausführung:

Elektrowatt Ingenieurunternehmung EWI

Dr. U. Hoins, Projektleitung, Sachbearbeitung
Dr. J. Presler, Qualitätssicherung
M. Gysi, Sachbearbeitung
S. Hoegger, Sachbearbeitung

Bezug: Fachstelle Bodenschutz
Walchtor
8090 Zürich

Copyright: Abdruck mit Quellenangabe und Abgabe eines Belegexemplars gestattet

Schutzgebühr: Fr. 30.--

2. Auflage: Oktober 1996, anonymisierte Version

Inhaltsverzeichnis		Seite
Darstellungsverzeichnis		iii
Zusammenfassung		iv
1.	Ausgangssituation	1
2.	Auftrag, Problemstellung und Zielsetzung	2
3.	Vorgehen	4
4.	Grundlagen	5
4.1	Problematik der landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden	5
4.2	Erkenntnisse für das vorliegende Projekt	9
4.2.1	Untersuchung der Standorte	9
4.2.2	Auswirkungen auf Bodeneigenschaften durch Auffüllungen	9
4.3	Handlungsalternativen zu Auffüllungen	10
4.3.1	Methoden der Nutzung und Melioration organischer Böden	10
4.3.2	Änderung des Nutzungsziels - ökologische Ausgleichsflächen	11
5.	Methoden	13
5.1	Felduntersuchung	13
5.1.1	Standortwahl	13
5.1.2	Feldaufnahme - Beprobung der Standorte	14
5.1.3	Datenanalyse	14
5.1.4	Bodennutzungsprotokolle	16
5.1.5	Abschätzung der Moorsackung	16
5.1.5.1	Höhenvermessung	16
5.2	Entscheidungsfindung zur Beurteilung von Auffüllungsgesuchen	17
5.2.1	Auffüllungsgesuch	17
5.2.2	Auffüllungsgründe	17
5.2.3	Bewertung	18
5.2.4	Entscheid	18

6.	Die Untersuchungsstandorte - Istzustand und voraussichtliche Entwicklung	19
6.1	Charakteristika der Standorte im Überblick	19
6.2	Landwirtschaftliche Nutzung der Standorte - Bodennutzungsprotokolle	19
6.3	Ergebnisse der Felduntersuchung	21
6.3.1	Benken	21
6.3.1.1	Zustand	21
6.3.1.2	Entwicklung	22
6.3.2	Bonstetten, Gossau, Oberglatt und Rifferswil	25
7.	Abschätzung der Moorsackung: Standort Benken	29
7.1	Moorsackung 1929 - 1996	29
7.2	Torfmächtigkeiten 1996 und 2046 - Eine Prognose	29
7.3	Reliefveränderungen: 1926 - 1996 - 2046	29
8.	Fallbeispiele für die Beurteilung von Auffüllungsgesuchen	34
8.1	Die Untersuchungsstandorte	34
8.1.1	Beurteilung aufgrund der Standorteigenschaften	34
8.1.2	Abschätzung von Auffüllungshöhen und -volumina	36
8.1.3	Beurteilung von Handlungsalternativen	37
8.2	Hypothetische Szenarien	37
8.2.1	Auffüllung von Mulden	37
8.2.2	Auffüllung wegen Vernässungen	38
8.2.3	Auffüllung wegen ungünstiger Eigenschaften des mineralischen Untergrundes	38
9.	Schlussfolgerungen	39
10.	Empfehlungen	42
	Literaturverzeichnis	44
	Anhang	

Darstellungsverzeichnis	Seite
Darstellung 3-1: Vorgehen	4
Darstellung 4.1-1: Die Moorsackung beeinflussende Faktoren	7
Darstellung 4.1-2: Veränderungen bodenphysikalischer und- chemischer Eigenschaften	8
Darstellung 5.1-1: Bodenkennwerte der Feldaufnahme	15
Darstellung 6.1-1: Charakteristika der Untersuchungsstandorte	19
Darst. 6.2-1: Landwirtschaftliche Nutzung der Untersuchungsstandorte	20
Darstellung 6.3-1: Flächendarstellung Standort Benken; Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche	23
Darstellung 6.3-2: Tiefenprofile Standort Benken; Schichtaufbau an den Beprobungspunkten	24
Darstellung 6.3-3: Prozentuale Anteile der Beprobungspunkte mit Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorigen Schichten (10-30 % Humus) und mineralischen Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche bei total 100 Bohrungen	26
Darstellung 6.3-4: Häufigkeitsverteilung der Torfmächtigkeiten an den Untersuchungsstandorten sowie statistische Masszahlen	27
Darstellung. 6.3-5: Zusammenfassung wesentlicher Eigenschaften der Standorte	28
Darstellung 7.1-1: Standort Benken; Isolinien der Moorsackung. Sackung der Terrainoberfläche im Zeitraum von 1929 bis 1996 (oben) sowie jährliche Moorsackungsraten	30
Darstellung 7.2-1: Standort Benken; Torfmächtigkeiten im Jahre 1996 und 2046	31
Darstellung 7.3-1: Standort Benken; Das Relief im Jahr 1926 und 1996	32
Darstellung 7.3-2: Standort Benken; Das Relief im Jahr 2046, eine Prognose	33
Darstellung 8.1-1: Bewertung von Standorteigenschaften im Hinblick auf Auffüllungen	35
Darstellung 8.1-2: Schätzung von Auffüllhöhen / -volumina für die Untersuchungsstandorte	36

Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Nutzung ehemaliger Moore - sogenannter organischer Böden - bewirkt stetige Veränderungen von Bodeneigenschaften. Für die Landwirtschaft ist dies häufig mit Schwierigkeiten bei der Bewirtschaftung vor allem aufgrund von Vernässungen verbunden. Stickstoff- und Kohlendioxidfreisetzungen tragen zur Belastung der Umwelt bei.

In diesem Zusammenhang stellen sich Fragen nach dem Handlungsbedarf. Konkret wird dieser bei der Bearbeitung von Anträgen zur Auffüllung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden.

Der vorliegende Bericht stellt den Zustand und die Entwicklung organischer Böden dar und liefert Beurteilungsgrundlagen im Hinblick auf Auffüllungen.

Dazu wurden in einer Feldstudie exemplarisch 100 Beprobungspunkte an 5 Standorten (Benken, Bonstetten, Gossau, Oberglatt und Rifferswil) à 10'000 m² bodenkundlich aufgenommen und so relevante Eigenschaften erfasst. Für den Standort Benken wurde das Ausmass der Moorsackung seit 1929 auf der Grundlage alter Meliorationspläne und eigener, aktueller Höhenvermessungen abgeschätzt.

Die Ergebnisse werden wie folgt zusammengefasst.

Zustand und Entwicklung

- Organische Böden stehen überwiegend seit ca. 50 bis 100 Jahren unter landwirtschaftlicher Nutzung. In diesem Zeitraum haben die Torfmächtigkeiten um ca. 50 - 100 cm abgenommen (Moorsackung). Wenig zersetzte Torfschichten werden nur auf tieftorfigen (> 90 cm) Standorten im Einflussbereich des Grundwassers gefunden.
- Es treten vorwiegend flachtorfige (40 - 90 cm) und antorfige (< 40 cm) organische Böden auf. Zwischen verschiedenen Standorten sowie innerhalb eines Standortes sind deutliche Variationen bezüglich der Torfmächtigkeiten und der Bodenart des mineralischen Untergrundes typisch. Dies zeigt sich auch an kleinräumigen Substratwechslern: Organische Böden sind vielfach mit mineralischen Böden oder bereits stark abgebauten, anmoorigen (10 - 30 % Humus) Böden vergesellschaftet. Im Hinblick auf Auffüllungen ist dieser Umstand wegen unterschiedlicher Sackungen als ungünstig zu bewerten.

- Die landwirtschaftliche Nutzungseignung wird hauptsächlich durch Vernässungen als Folge der Moorsackung beeinträchtigt. Diese Entwicklung wird sich weiter verstärken und so die landwirtschaftliche Nutzungseignung vielfach beeinträchtigen.
- Basierend auf der Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung der Standorte, ist die aktuelle Nutzung (Acker) weitgehend nicht standortgerecht.
- Bei gleichbleibender ackerbaulicher Nutzung organischer Böden wird sich der Torfabbau (ca. 1 cm pro Jahr) weiter fortsetzen, so dass in wenigen Jahrzehnten ein Grossteil dieser Böden verschwunden, d.h. nahezu vollständig mineralisiert ist.
- Nach vollständigem Abbau der Torfschichten bestimmen der mineralische Untergrund sowie die jeweiligen hydrologischen Verhältnisse die Eigenschaften der "neuen" Böden. Ca. 1/4 der untersuchten Flächen (ca. 50'000 m²) wies Seekreideunterlagen auf, so dass von einer erheblichen Relevanz dieses Substrates für die künftigen Eigenschaften der Böden nach vollständigem Torfabbau ausgegangen werden kann. Seekreide ist wegen ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften als ungünstig für die landwirtschaftliche Nutzung zu bewerten. Teilweise, so z.B. für den Standort Benken, werden sich nach allmählicher Stabilisierung des Humusabbaus und bei günstigen Bodenarten des mineralischen Untergrundes sowie unter der Voraussetzung, dass Entwässerungen möglich sind, die Verhältnisse bezüglich der landwirtschaftlichen Nutzungseignung verbessern. Andere Standorte werden aufgrund tonreicher Bodenarten verstärkt zu Vernässungen neigen, so dass eine ackerbauliche Nutzung kaum mehr in Frage kommt.

Beurteilung von Auffüllungen organischer Böden

- Grundsätzlich ist die landwirtschaftliche Nutzungseignung organischer Böden durch Auffüllungen besserbar. Eine Verbesserung oder Verschlechterung ist dabei von der Auffüllhöhe und der Bodenart des Auffüllmaterials abhängig.
- Auffüllungen bewirken Setzungen von organischen Böden. Je mächtiger die Torfschichten sind, desto stärker wird die Setzung sein. Standorte mit variierenden Torfmächtigkeiten führen daher zu ungleichmässigen Setzungen. Dadurch werden wiederholte Auffüllungen und Planierungen notwendig, was die Eignung als Auffüllungsstandorte beeinträchtigt.
- Torfschichten werden durch Auffüllungen verdichtet. Es entsteht eine Stauwasserzone unmittelbar unterhalb der Auffüllung. Stauwasser reduziert den Wurzelraum der Auffüllung. Dies ist bei der Bemessung der Auffüllhöhen zu berücksichtigen

-
- Primär geeignet für Auffüllungen sind organische Böden mit folgenden Eigenschaften:
 - Bereits stark abgebaute, antorfige Böden (≤ 40 cm Torf) in Verbindung mit Seekreideunterlagen oder ungünstigen Bodenarten (sehr leicht, sehr schwer).
 - Muldenlagen innerhalb eines Standortes mit mineralischen Böden.

 - Zur Beurteilung von Auffüllungsvorhaben sind folgende Kennwerte relevant:
 - Bodenaushub (Auffüllmaterial): Volumen, Bodenart, Skelettanteil, Humusgehalt, pH;
 - Standort: Fläche, Torfmächtigkeiten auf der Fläche, Bodenart des mineralischen Untergrundes.

 - In der Bewilligungspraxis wird das Volumen und die Qualität des zur Auffüllung vorgesehenen Bodenmaterials sowie die Grösse der zur Auffüllung bestimmten Fläche entscheidend sein für die Abschätzung des Erfolges eines Auffüllungsvorhabens.

1. **Ausgangssituation**

Im Zusammenhang mit der Verwertung von Bodenaushubmaterial, sind Anträge zur Auffüllung von landwirtschaftlich genutzten Böden zu entscheiden. Für entsprechende Beurteilungen müssen sachlich begründete Handlungskriterien erarbeitet werden.

Die Entscheidungsfindung basiert massgeblich auf dem Grundsatz der Erhaltung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Für landwirtschaftlich genutzte Böden stellt die Abschätzung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung aus feldbodenkundlichen Erhebungen eine objektive Beurteilungsgrundlage dar. Allgemein ausgedrückt soll eine Verschlechterung der Bodenqualität durch Eingriffe vermieden werden.

2. Auftrag, Problemstellung und Zielsetzung

Mit Vertrag vom 3. Oktober 1995 wurde die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI) beauftragt, in einer Feldstudie den Handlungsbedarf bezüglich der Nutzung organischer Böden im Kanton abzuklären.

Potentieller Handlungsbedarf ergibt sich aufgrund folgender Sachlage:

1. Die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden bewirkt fortwährende Veränderungen der Bodeneigenschaften. Daraus resultierende Verschlechterungen der landwirtschaftlichen Nutzungseignung werfen die Frage nach Meliorationsmöglichkeiten (Verbesserungen) auf.
2. Durch Auffüllungen werden Böden künstlich neu geschaffen, sog. anthropogene Böden. Die Bodeneigenschaften sind je nachdem schlechter oder besser als vorher.

Bedingung für die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden sind Entwässerungsmassnahmen, welche in der Schweiz seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts im grossen Umfang eingeleitet wurden, so dass der grösste Teil der ehemaligen Moor- und Sumpfböden heute einer landwirtschaftlichen Nutzung unterliegt. Die Inkulturation organischer Böden löst Prozesse der Moorsackung aus, welche die Eigenschaften der organischen Böden stetig und in relativ kurzen Zeiträumen verändern und schliesslich zu einem vollständigen Abbau der Torfschichten führen können. Eine derartige Bodendegradation (hier verstanden als Umwandlung des ursprünglichen Bodens und seiner Eigenschaften sowie Verlust der bezeichnenden Merkmale) kann gleichbedeutend sein mit einer wesentlichen Veränderung der Bodenfruchtbarkeit eines Standortes und damit z.B. auch seiner landwirtschaftlichen Nutzungseignung.

Aus landwirtschaftlicher Sicht stellen sich daher periodisch Fragen nach Meliorationsmassnahmen. Dies vor allem aufgrund unbefriedigender Bodenwasser- und Bodenluftverhältnisse. Wiederholte Entwässerungsmassnahmen sind Ausdruck dieser Meliorationsbedürftigkeit. Ungünstige Reliefbildung und ungünstige Eigenschaften des mineralischen Untergundes können weitere Gründe für Eingriffe sein.

Auffüllungen, d.h. Überschüttungen eines Bodens mit meist ortsfremdem Bodenmaterial verändern die ursprünglichen Eigenschaften eines Standortes in Abhängigkeit von der Aufschütthöhe und der Qualität des zur Auffüllung bestimmten Bodenmaterials. Werden organische Böden überschüttet, so werden die Moorsackungsprozesse beeinflusst. D.h. die Setzung des Moores wird durch die Auflast der Auffüllung verstärkt

Die vorliegende Studie soll Entscheidungsgrundlagen für den Bodenschutzvollzug im Zusammenhang mit der Nutzung von organischen Böden bereitstellen. Es sind bodenkundliche Handlungskriterien bei der Beurteilung von Auffüllungsgesuchen zu erarbeiten. Es sind folgende Ziele zu nennen:

- Erfassung des Zustandes und Beurteilung der Entwicklung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden an für den Kanton repräsentativen Standorten.
- Ermittlung von bodenkundlichen Handlungskriterien bei der Beurteilung von Auffüllungsgesuchen landwirtschaftlich genutzter organischer Böden.
- Aufzeigen von Alternativen zur Auffüllung organischer Böden.

3. Vorgehen

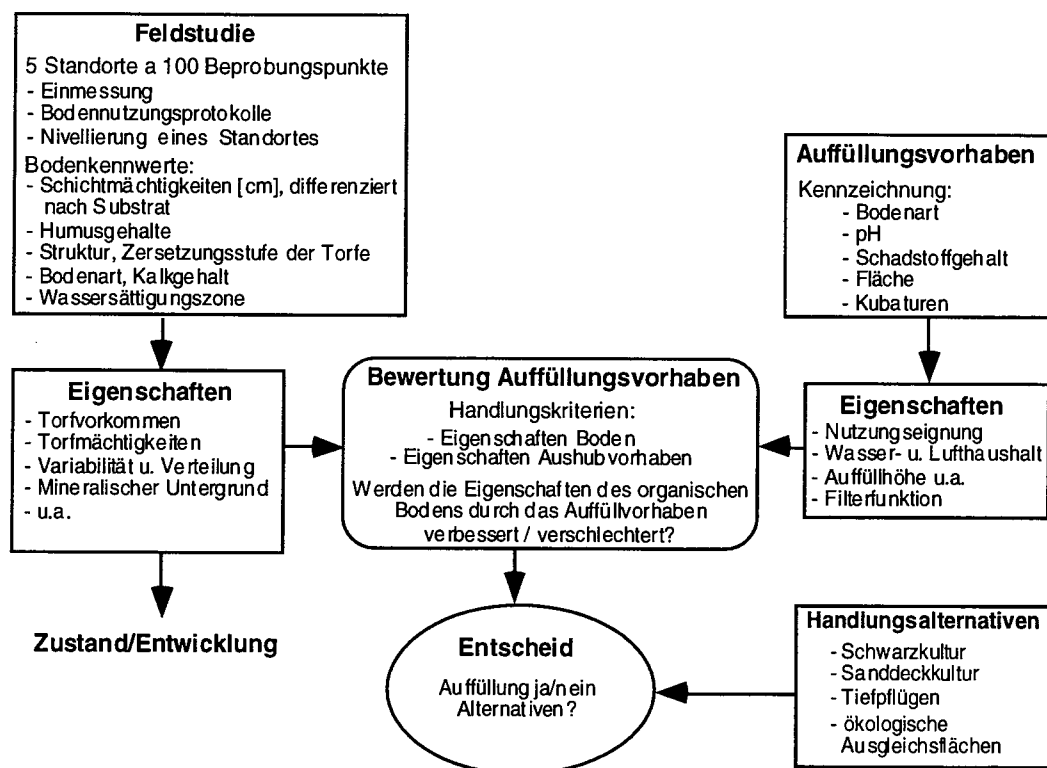
Gegenstand der Studie sind landwirtschaftlich genutzte, entwässerte Moore (organische Böden) und Meliorationsmassnahmen - insbesondere Auffüllungen -, als Reaktion auf Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Als Beurteilungsgrundlage ist eine Erfassung wesentlicher Merkmale (Kennwerte) unerlässlich.

In einer **Feldstudie** wurden an 5 Standorten im Kanton Kennwerte aufgenommen, welche relevante **Eigenschaften** zur Beurteilung des Zustandes und der Entwicklung charakterisieren und als Grundlage für die Bewertung von Auffüllungsvorhaben dienen.

Relevante Eigenschaften eines **Auffüllungsvorhaben** leiten sich aus entsprechenden Kennzeichen des Auffüllmaterials (Bodenart) sowie Charakteristika des Vorhabens ab.

Die **Bewertung von Auffüllungsvorhaben** erfolgte auf der Grundlage, dass Verschlechterungen der Nutzungseignung durch Eingriffe nicht weiter forciert werden. Massstab waren dabei, die aus Kennwerten abgeleiteten Eigenschaften des Bodens und des Auffüllungsvorhabens (Handlungskriterien).

Schliesslich dienten die 5 Untersuchungsstandorte als Fallbeispiele für die Beurteilung hypothetischer Auffüllungsgesuche. In die **Entscheidungsfindung** wurden **Handlungsalternativen** zur Auffüllung miteinbezogen.



Darstellung 3-1: Vorgehen

4. Grundlagen

Die folgenden Ausführungen basieren auf Literaturgrundlagen, welche thematisch sortiert in der untenstehenden Darstellung aufgelistet sind. Das Literaturverzeichnis befindet sich am Ende des Berichtes.

Darstellung 4-1: Literaturrecherche, thematischer Katalog

Thematischer Katalog	Nr. der Referenz (siehe Literaturverzeichnis)
1. Prozesse der Moorsackung; Moorsackung und beeinflussende Faktoren	4, 11, 25, 32, 34, 40, 50, 78, 93, 97, 98, 107, 108
2. Ausmass von Moorsackungen; Berechnungsmethoden	2, 3, 14, 25, 29, 39, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 63, 69, 70, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 86, 87, 90, 91, 92, 97, 98, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 114, 116, 117, 120
3. Änderungen physikalisch u. chemischer Eigenschaften	6, 11, 13, 14, 15, 27, 28, 34, 42, 43, 44, 45, 46, 59, 61, 64, 71, 79, 94, 95, 96, 117
4. Moorsackung und Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzungseignung	5, 15, 21, 22, 23, 42, 43, 54, 55, 70, 81, 93, 99, 113
5. Methoden der Nutzung und Melioration	9, 24, 26, 27, 28, 30, 33, 36, 43, 61, 62, 63, 65, 69, 75, 76, 80, 93, 96, 113, 114, 115, 119, 120
6. Moorsackung und Bodenentwicklung	56, 63, 69, 70, 81, 86, 88, 89, 91
7. Wasserhaushalt organischer Böden	13, 21, 22, 23, 27, 28, 44, 46, 59, 61, 80, 83, 98
8. Landwirtschaftliche Nutzung und Probleme für den Bodenschutz, Auswaschung u. Entgasung	3, 16, 20, 21, 22, 23, 38, 43, 51, 55, 72, 73, 90, 109, 111, 112
9. Beurteilungsmethoden	11, 10, 12, 17, 18, 19, 24, 31, 34, 35, 41, 58, 59, 60, 64, 66, 67, 68, 74, 88, 89, 95, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 118
10. Umfassende Literatur	7, 8, 19, 31, 37, 57, 82, 84, 85

4.1 Problematik der landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden

Organische Böden sind hydromorphe Böden, die ganz oder teilweise aus organischer Substanz (O.S.) bestehen. Dazu gehören in erster Linie die Moore. Bodenschichten mit O.S.-Gehalten > 30 % werden als organische Schichten (Torf) diejenigen mit O.S.-Gehalten < 30 % als mineralische Schichten bezeichnet. Weiterhin bestimmen die Torfmächtigkeiten die jeweiligen Eigenschaften eines Standortes sowie die Untertypenbezeichnung der organischen Böden: antorfig (< 40 cm), flachtorfig (40 - 90 cm), tieftorfig (> 90 cm).

Im folgenden werden die wichtigsten Aspekte, die sich aus der landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden ergeben und für die Beurteilung der Untersuchungsstandorte relevant sind, zusammengefasst. Ausführendere Erläuterungen hierzu sind im Anhang [4.1-1] nachzulesen.

Moorsackung und daraus resultierende Veränderungen chemischer und physikalischer Eigenschaften:

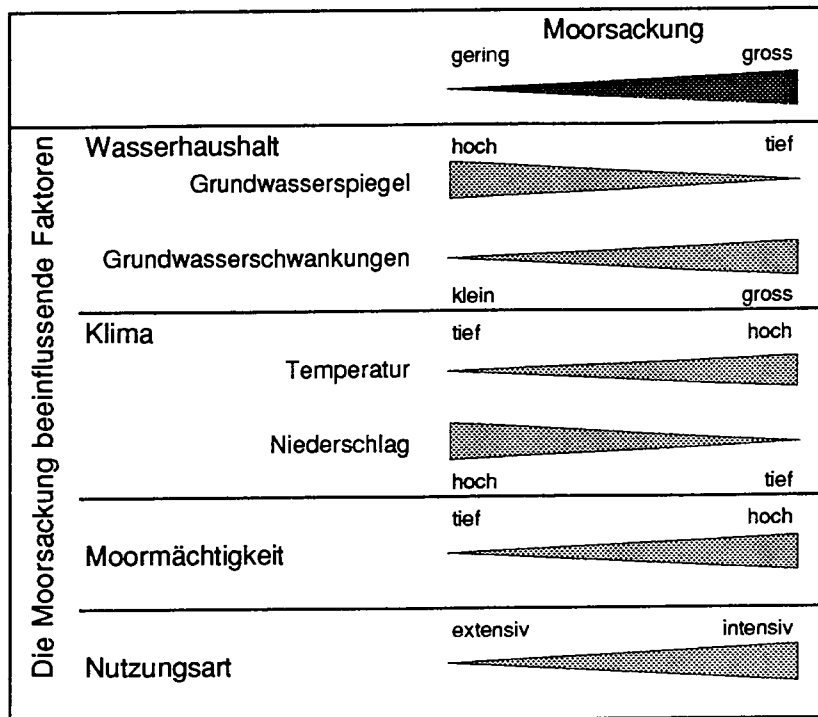
- Entwässerungsmassnahmen lösen Prozesse der Moorsackung aus, welche die Eigenschaften der Böden ständig verändern.
- Die Moorsackung ist von den Faktoren Wasserhaushalt, Klima, Moormächtigkeit und Nutzungsart abhängig (Darst. 4.1-1). Bei gegebenen klimatischen Bedingungen wird das Ausmass der Moorsackung in erster Linie durch den Wasserhaushalt sowie die Torfmächtigkeit bestimmt. Je höher z.B. der Grundwasserspiegel steht, desto geringer ist die Moorsackung. Die Nutzungsart beeinflusst die Moorsackung vor allem über die für eine bestimmte Nutzung notwendige Grundwasserabsenkung (Acker > Wiese) und z.T über die Intensität der Bodenbearbeitung, welche kulturspezifisch ist.
- In der Schweiz ist - je nach Konsolidierung der Torfschichten - mit jährlichen Sackungsraten von 5 - 30 mm zu rechnen.
- Entsprechend der Dynamik der Moorsackung ändern sich die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften. Kennwerte hierfür sind z.B. die Struktur und die Zersetzungsstufe der Torfe. Eine fortschreitende Moorsackung bewirkt z.B. eine Zunahme der Verdichtung. Dies hat Auswirkungen auf die Porengrössenverteilung: die Luftkapazität nimmt ab. Bezüglich der chemischen Bodeneigenschaften ist die mineralisationsbedingte Freisetzung von Stickstoff problematisch.

Eine zusammenfassende Übersicht hierzu ist Darstellung 4.1-2 zu entnehmen.

Moorsackung und landwirtschaftliche Nutzungseignung

- Vor allem die Änderungen der physikalischen Bodeneigenschaften bewirken Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Nutzungseignung. Häufig auftretende Probleme sind in einem unbefriedigenden Wasser- und Lufthaushalt begründet:
 - Abnehmende Grundwasserflurabstände,
 - Zunahme der Staunässeineigung,
 - im Extremfall entstehen haftnasse, bis zur Oberfläche gesättigte Böden.

- Die Prozesse der Moorsackung verschlechtern die landwirtschaftliche Nutzungseignung innerhalb von Jahrzehnten, so dass wiederholt Meliorationen (z.B. Entwässerungen) notwendig werden.
- Die Nutzung kann einen völligen Abbau der Torfschichten bewirken. Sodann bestimmen der mineralische Untergrund sowie die hydrologischen Verhältnisse die Eigenschaften und somit auch die Nutzungseignung der neu entstandenen Böden.



Darstellung 4.1-1: Die Moorsackung beeinflussende Faktoren. Je breiter das Band, desto höher, grösser, intensiver ist der jeweilige beeinflussende Faktor.

Prozesse der Moorsackung	Bodenphysikalische Eigenschaften	Moorsackung gering gross	Bodenchemische Eigenschaften	Moorsackung gering gross	Veränderungen der landwirtschaftlichen Nutzungseignung	Moorsackung gering gross
Setzung primäre Moorsackungsphase	Verdichtung (Zunahme der Lagerungsdichte)				Grundwasserflurabstand	
	Gesamtporenvolumen				Staunässe	
	Veränderung der Porengrössenverteilung:				Trag- und Trittfähigkeit	
	Luftkapazität				Austrocknung oberflächennaher Schichten	
	Feldkapazität				Entstehung haftnasser Böden	
	Wasserleitfähigkeit (vertikal)				Entstehung neuer Bodentypen	
					- Torf-Gleye (0.2-0.5m Torf) - anlorfige Gleye (< 0.3m Torf) - flachlorfige Moorböden	
Torfverzehr/ Schrumpfung sekundäre Moorsackungsphase	Gilührückstand (Aschegehalt)		Humifizierungsgrad		Reliefausbildung	
	Lagerungsdichte		N-Gehalt		Weitere Auswirkungen:	
	Wasserdurchlässigkeit (Kap. Leitfähigkeit)		P-Gehalt		- ungleicher Wasser- und Nährstoffhaushalt (auf einer Fläche)	
	Zeretzungsstufe		COOH-Gruppen		- keine genaue Bodenwasserregulierung möglich	
	Porenvolumen		C/N Verhältnis			
	Grob-/Mittelporen		C/Porg.			
	Feinporen		N/Porg.			
	Wiederbefeuchtung		KAK			
	nutzbare Wasserkapazität					
					Landw. Nutzungseignung	

Darstellung 4.1-2: Veränderungen physikalischer und chemischer Eigenschaften infolge der Moorsackung (Alterung der Moorböden) sowie daraus resultierende Veränderungen der organischen Böden im Hinblick auf ökologische Eigenschaften, Entwicklung sowie bezüglich der landwirtschaftlichen Nutzungseignung

4.2 Erkenntnisse für das vorliegende Projekt

4.2.1 Untersuchung der Standorte

Zur Beurteilung des Zustandes und der künftigen Entwicklung der Untersuchungsstandorte und als Grundlage für Beurteilungen von Auffüllungsgesuchen sind folgende Standorteigenschaften relevant:

- Torfmächtigkeiten;
- Schichtaufbau, Torfqualität (Humusgehalt, Struktur, Zersetzungsstufe);
- Bodenart des mineralischen Untergrundes;
- Bodennutzung.

4.2.2 Auswirkungen auf Bodeneigenschaften durch Auffüllungen

In Abhängigkeit von quantitativen (Auffüllhöhe) und qualitativen (Bodenart) Charakteristika eines Auffüllvorhabens und vor allem in Abhängigkeit von den Torfmächtigkeiten, der Lagerungsdichte sowie der Lage des Grundwasserspiegels der aufzufüllenden Fläche sind folgende Auswirkungen von Bedeutung:

- Setzung der Torfschichten wird durch die Auflast verstärkt;
- Verdichtung, Entstehung einer Stauwassersohle (Staunässe);
- ungleichmässige Sackungen in Anhängigkeit von Torfmächtigkeiten;
- Einwaschung von Feinerde (Schluff, Ton) in organische Schichten, Verstärkung der Staunässeentstehung;
- Unterdrückung der Torfmineralisation, dadurch verminderte Stickstoff- (u.a. Nitrat) und Kohlendioxidfreisetzung;
- grundsätzlich ist eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung (Pflanzennutzbare Gründigkeit, Trittfestigkeit usw.) durch entsprechende Auffüllhöhen und in Abhängigkeit der Bodenart möglich.
- Organische Böden verschwinden aus dem Landschaftsbild;

4.3 Handlungsalternativen zu Auffüllungen

4.3.1 Methoden der Nutzung und Melioration organischer Böden

Im folgenden werden bekannte Moornutzungsverfahren charakterisiert. Bei der Entscheidungsfindung im Zusammenhang mit Auffüllungsvorhaben werden sie als Alternativen hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

Schwarzkultur

Bei der Schwarzkultur werden Moore nach der Entwässerung direkt genutzt. Eine zentrale Rolle nimmt die optimale Regulierung der Grundwasser-(GW)Stände ein. Um die Moorsackung zu verlangsamen sind möglichst hohe GW-Stände anzustreben. Diese sind allerdings auch von der GW-Verträglichkeit der Kulturen abhängig (Nutzungsziel). Die Entwässerungsfähigkeit eines Standortes und ein entsprechendes standortgerechtes Entwässerungsverfahren sind wesentlich von den Standorteigenschaften (Wasserleitfähigkeit, Tiefe des Stauhorizontes, Lagerungsdichte) abhängig. Eine Nutzung als Schwarzkultur ohne Moorsackung ist nicht möglich.

Steckbrief:	<u>Nutzung</u>	<u>GW-Stand</u>
	Wiese:	0.4 - 0.5 m
	Weide:	0.5 - 0.6 m
	Acker:	0.6 - 1.0 m

Sanddeckkultur (Übersandung)

Bei der Sanddeckkultur werden organische Böden mit Mineralerde aus dem Untergrund mittels einer Kuhlmaschine übersandet. Das Gelingen ist abhängig von der Mächtigkeit und Qualität der Bodenart und der Torfart.

Steckbrief:

- | | |
|-----------------|--|
| Ziele: | <ul style="list-style-type: none"> - Verhinderung der Austrocknung der obersten Bodenschichten - Konservierung/Verlangsamung der Sackungsprozesse - Verbesserung der Trittfestigkeit / Befahrbarkeit - Verminderung des Unkrautdruckes |
| Bedingung: | <ul style="list-style-type: none"> - Planierungsarbeiten müssen vorangehen - Bodenbearbeitung findet nur in der Sandschicht statt |
| Anforderungen : | <ul style="list-style-type: none"> - Mächtigkeit der Übersandung: 10 - max. 30 cm - Körnung: Sand, bevorzugte Körnung zwischen 0.1 - 0.5 mm |
| Gefahren: | <ul style="list-style-type: none"> - Unebenheiten und generell zu tiefe Bodenbearbeitung verursachen sog. "Alterung" der Sanddeckkulturen. Es entstehen schwierige, staunasse, unkrautwüchsige, ackerbaulich ungeeignete Flächen. Mit zunehmenden Torfmächtigkeiten (unregelmässige Sackung) wird diese Gefahr grösser. - Verdichtung durch Auflast begünstigt die Entstehung von Staunässe. |

Tiefpflügen

Beim Tiefpflügen wird ein mindestens 0.6 m tiefer Bodenbereich (Torfschicht und mineralischer Untergrund) unterfahren und gewendet (Einscharpflug). Die meliorative Wirkung ist weitgehend von der Textur des mineralischen Untergrundes abhängig.

Steckbrief:

- Ziele:
- siehe Sanddeckkultur
 - Verbesserung der Drainageeigenschaften durch eingelagerte Sandbalken
- Anforderungen :
- Bodenart des min. Untergrundes: Feinsand bis Mittelsand
 - Tiefe der Pflugfurche: 0.6 - max. 2.2 m
 - Torf/Sand-Verhältnis: 2/1 (Mittelsand) bis 1/2 (Feinsand)
 - Humusgehalte in der neuen Krume: 10 - 15 Gew. %
- Gefahren:
- Bei schluffiger bis lehmiger Unterlage entstehen anthropogene Böden vom Stauwassertyp, bei Lehmen solche vom Haftwassertyp.

Sowohl die Sanddeckkultur als auch das Tiefpflügen bedingen anschliessend eine Anhebung des Grundwasserspiegels.

4.3.2 Änderung des Nutzungsziels - ökologische Ausgleichsflächen

Nach Art. 1 der Verordnung für besondere Leistungen in der Landwirtschaft, gestützt auf Art 31b und 117 des LwG, gewährt der Bund auf Gesuch hin Beiträge an bäuerliche Bewirtschafter von Landwirtschaftsbetrieben für:

- a. den ökologischen Ausgleich,
- b. die Integrierte Produktion (IP),
- c. den Biologischen Landbau (BioL),
- d. die kontrollierte Freilandhaltung von Nutztieren.

Beiträge des Bundes für ökologische Ausgleichsflächen sind in der Regel mit Änderungen des Nutzungsziels verbunden. Für die Bewirtschaftung organischer Böden wäre folgendes Szenarium denkbar:

- Änderung des Nutzungsziels (statt Ackerbau extensive Grünlandbewirtschaftung);
- ökologische Ausgleichsflächen einrichten;
- Beiträge des Bundes und des Kantons beantragen;
- Entwässerungsmassnahmen werden überflüssig;
- ansteigende Wasserstände verlangsamen die Moorsackung;
- es werden keine weiteren Meliorationen durchgeführt;

Ein konventioneller Betrieb kann potentielle Problemflächen als ökologische Ausgleichsflächen ausscheiden und dafür Beiträge von Bund und Kanton beziehen. Die Beiträge des Bundes belaufen sich auf 300 bis 1000 sFr. pro Jahr und Hektar.

Betriebe, die nach den Regeln der integrierten Produktion oder des biologischen Landbaus geführt werden, können über die ökologische Aufwertung organischer Böden ihren Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen erhöhen (verlangt werden 5 %).

Ausscheidungen ökologischer Ausgleichsflächen sind Alternativen zu Meliorationsmassnahmen. Sie tragen zur Erhöhung des ökologischen Potentials sowie der Erhaltung einer Bodenformenvielfalt einer Region bei und berücksichtigen Prinzipien einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung. Grundlagen für Ausgleichszahlungen durch Bund und Kanton sind im Anhang [4.3-1] zusammengestellt.

5. Methoden

5.1 Felduntersuchung

5.1.1 Standortwahl

Für die Standortwahl - es waren 5 Standorte vorgesehen - mussten bodenkundliche und landwirtschaftliche Kriterien erfüllt sein:

- unterschiedliche Torfmächtigkeiten und -qualitäten;
- unterschiedliche Verhältnisse bezüglich des mineralischen Untergrundes (Bodenart unter den Torfen);
- Unterschiedliche Nutzungsformen: Ackerbau/Grünland;
- Mindestgrösse: 1 ha;
- Grundlagen für eine Abschätzung der Moorsackung an einem Standort.

Es wurden Grundlagen in folgender Reihenfolge ausgewertet:

1. Standortkundliche Gliederung des Kantons Zürich:

Auswahl potentieller Untersuchungsstandorte aufgrund der Kriterien

- "Ausgangsgestein für die Bodenbildung" (Geo-Einheit 4: Seebodenlehme, Schwemmlöhme, Gehängelehme),
- "Skelettgehalt" (Stufe 1: skelettfrei)
- sowie "Vernässung" (Stufe 4: grundnass).

2. Liste der Flachmoore von nationaler Bedeutung, Kanton Zürich. Es wurden jeweils grössere Gebiete in Betracht gezogen.

3. Bodeneignungskarte der Schweiz, 1:200'000 (Kriterium: organische Nassböden).

Auf dieser Basis und nach Rücksprache mit Kartierern des Kantons Zürich (Hr. J. Videtic und Hr. P. Schwab, LB-Lindau) wurden 27 Gemeinden mit potentiellen Standorten eruiert. Die Festlegung der Untersuchungsstandorte erfolgte aufgrund einer Voruntersuchung, in der unter Berücksichtigung der Nutzung und der Flächengrössen stichprobenartig die Torfmächtigkeiten und der mineralische Untergrund beurteilt wurden. Im Anhang [5.1-1] ist die Standortwahl zusammenfassend dargestellt.

5.1.2 Feldaufnahme - Beprobung der Standorte

Untersuchungsfläche

Anzahl Messpunkte pro Standort: 100

Grösse, Form: Seitenlänge 100 m, Quadrat (1 ha)

Beprobungsraster: gleichmässig, quadratisch

Ein Beprobungspunkt repräsentiert somit eine Fläche von 10 x 10 m (1 Are). Die Beprobungspunkte wurden mit Buchstaben (A - J) und Zahlen (1 -10) gekennzeichnet. Die Feldaufnahmen der Untersuchungsstandorte erfolgten im November und Dezember 1995.

Einmessung der Standorte

Pro Standort wurde 1 Beprobungspunkt (A1) ausgehend von 3 Fixpunkten mit Massband und Kompass eingemessen und die Ausrichtung der Untersuchungsfläche bestimmt (Lageplan der Standorte im Anhang [6.1-1]).

Das Beprobungsraster wurde mittels Massband und Winkelprisma (90°) gelegt. Die Genauigkeit der Einmessung (A1) beträgt ca. 0.5 m, die der Rasterpunkte 10 cm.

Beprobung

Pro Beprobungspunkt wurden Schichtmächtigkeiten differenziert nach Schichtaufbau bzw. Bodenart bis in eine Tiefe von 1 m feldbodenkundlich aufgenommen (Flügelbohrer, Ø 4 cm), die Kennwerte teilweise codiert und in einem Feldprotokoll festgehalten. Lag die Torfsohle tiefer als 1 m, so wurde bis max. 2 m Tiefe beprobt (Pürckhauer). Darstellung 5.1-1 enthält eine Zusammenstellung der erhobenen Bodenkennwerte.

Struktur und Zersetzungsstufe des Torfes wurden in Anlehnung an die bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden) qualitativ bestimmt.

An einigen Proben wurden die Schätzwerte (Humusgehalt, Bodenart) nachträglich analytisch überprüft (Körnung nach FAP, siehe Anhang [5.1-2]).

5.1.3 Datenanalyse

Die Feldprotokolle wurden in eine Datenbank (FileMaker Pro) übertragen und anschliessend weiter verarbeitet (Excel, StatView, MapII, GIS-System: ARC/INFO V7 mit Modul Grid).

Die Analyse der Daten erfolgte mit numerischen und grafischen Verfahren.

Die Beobachtungen wurden mit folgenden statistischen Masszahlen beschrieben:

- Mittelwert,
- Standardabweichung,
- Variationsweite (Minimum, Maximum).

Die Häufigkeitsverteilung der Messwerte wurde mit Histogrammen dargestellt.

Die räumliche Verteilung der Messwerte - sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung - wurde mittels optisch prägnanter Darstellungen beurteilt:

- Flächendarstellungen für unterschiedliche Bodentiefen: 15, 30, 40, 100 cm.
- Säulendiagramme (Profile) für vertikale Querschnitte durch die Untersuchungsstandorte.

Darstellung 5.1-1: Bodenkennwerte der Feldaufnahme

<u>Kennwerte</u>	<u>Methode</u>	<u>Code/Einheit</u>
Schichtmächtigkeit: Ober-/Untergrenze	Flügelbohrer, Massband	cm
Schichtaufbau:		
• Humusgehalte	Schätzung, quantitativ	
- 10 - 30 % organ. Substanz (anmoor)		4
- 30 - 50 % organ. Substanz (Torf)		5
- > 50 % organ. Substanz (Torf)		6
• Struktur des Torfes	Schätzung, qualitativ	
- blättrig, lamellenartig, faserig		1
- schwammig, schmierig, kolloidfilzig		2
- bröckelig, krümelig (Mursch)		3
• Zersetzungsstufe des Torfes	Schätzung, qualitativ	
- nicht zersetzt (T _i)		7
- schwach zersetzt (T _f)		8
- zersetzt, keine Fasern u. Matrix (T _h)		9
Mineralischer Untergrund: Bodenart	Schätzung, quantitativ	10 - 18
Mineralischer Untergrund: Substrat	Feldansprache	
- alluviale Ablagerungen		23
- Seekreide		24
- seekreidehaltig		25
- Moräne		26
Kalkgehalt des mineralische Untergrundes:	Salzsäure-Test	
- kalkfrei		27
- schwaches Aufbrausen		28
- mittleres Aufbrausen		29
- starkes Aufbrausen		30
Wassersättigungszone (cm unter Terrain):	Beobachtung: Austritt von Wasser	cm

5.1.4 Bodennutzungsprotokolle

Zur Erhebung der landwirtschaftlichen Nutzung wurden Bodennutzungsprotokolle an die Bewirtschafter verschickt. Die Protokolle enthalten Angaben über:

- Nutzungsgeschichte;
- Nutzungsart und Produktionstyp;
- Mechanische Bearbeitung und Düngung;
- Meliorationsmassnahmen;
- Beobachtungen durch die Bewirtschafter über Veränderungen bzw. ungünstige Eigenschaften der Parzellen .

5.1.5 Abschätzung der Moorsackung

Eine retrospektive Abschätzung des Ausmasses der Moorsackung wurde auf der Grundlage eines Werkplanes zur Melioration des Benkener Riedes aus dem Jahre 1926 (Äquidistanz der Höhenlinien: 25 cm) und der Höhenvermessung der selben Fläche vom Januar 1996 vorgenommen. Der Werkplan wurde vom Kantonalen Meliorationsamt mit freundlicher Unterstützung durch Herrn Winkelhauser bezogen.

Nach der aktuellen Höhenvermessung zeigte sich eine Höhendifferenz von ca. -7 m im Vergleich zum Werkplan aus dem Jahre 1926. Die absoluten Werte der Höhenangaben aus der alten Karte sind also nicht nachvollziehbar. Dennoch kann man davon ausgehen, dass die Höhenunterschiede zwischen den Vermessungspunkten als Grundlage für die Karte richtig erfasst wurden und somit das Relief aus jener Zeit bezüglich der absoluten Höhenunterschiede richtig wiedergeben. Um eine Abschätzung der Moorsackung zu ermöglichen mussten die Höhenangaben aus der alten Karte korrigiert werden. Dies geschah unter der Annahme, dass in Bereichen ohne Torfschichten keine wesentliche Niveauveränderung stattgefunden hat. Derartige Bedingungen finden sich am Standort Benken im Bereich des Beprobungspunktes C8. Die Höhenangaben aus der alten Karte wurden an dieser Stelle denjenigen der aktuellen Messung gleichgesetzt und alle anderen Werte entsprechend korrigiert.

5.1.5.1 Höhenvermessung

Jeder Beprobungspunkt des Untersuchungsstandortes wurde ausgehend von folgendem Basispunkt (BP) mit einem elektronischen Theodoliten vermessen:

BP 992: Y-Koordinate: 691'325.999 X-Koordinate: 277'951.284 Höhe ü.M.: 405.839 m
Lage und Höhe des Basispunktes wurden 1994 überprüft.

5.2 **Entscheidungsfindung zur Beurteilung von Auffüllungsgesuchen**

Die Meliorationsbedürftigkeit eines Bodens ist in Zusammenhang mit der vorgesehenen Nutzung zu sehen. Die Meliorationsfähigkeit und ein standortgerechtes Meliorationsverfahren sind von den jeweiligen Bodeneigenschaften abhängig. Die Nutzungseignung von Böden ist zum einen von nicht beeinflussbaren Umständen abhängig wie z.B. dem Klima. Zum anderen sind der Wasserhaushalt und bestimmte bodenphysikalische Eigenschaften, die vor allem durch das Bodengefüge bedingt sind und auf dieses zurückwirken, zu beeinflussen. Beeinflussbar ist zudem das Kleinrelief. Weiterhin lassen sich durch Überschüttungen ursprüngliche Bodeneigenschaften vollkommen überdecken und so Böden mit "neuen" Eigenschaften erstellen.

Die Entscheidungsfindung geht von folgenden situativen Rahmenbedingungen aus:

Die Nutzung organischer Böden verursacht Veränderungen von Bodeneigenschaften, welche für die Landwirtschaft zu unbefriedigenden Bedingungen führen können. Auffüllungen sollen die Nutzungseignung erweitern.

5.2.1 **Auffüllungsgesuch**

Der Entscheidungsträger wird mit einem Auffüllungsgesuch konfrontiert, welches folgende Angaben enthält:

- Grösse der aufzufüllenden Fläche,
- Kubatur des zur Auffüllung bestimmten Bodenmaterials,
- Begründung für die beabsichtigte Auffüllung (Meliorationsbedürftigkeit),
- aktuelle Nutzung der zur Auffüllung bestimmten Fläche,
- Nutzungsziel nach der Auffüllung,
- Angaben zu bestehenden Meliorationen (z.B. Drainage).

5.2.2 **Auffüllungsgründe**

Meliorationsmassnahmen werden nur dann notwendig, wenn die aktuelle Situation für den Bewirtschafter unbefriedigend ist. Es werden folgende Gründe in Betracht gezogen:

- Unbefriedigender Wasser- und Lufthaushalt,
- ungünstige Eigenschaften des mineralische Untergrundes,
- ungünstiges Relief.

5.2.3 Bewertung

Für die Beurteilung der Zweckmässigkeit einer Auffüllung (oder alternativer Massnahmen) sind die Ursachen der Meliorationsbedürftigkeit (ungünstige Eigenschaften) aufgrund der Standorteigenschaften zu beurteilen und die Eigenschaften des Auffüllungsmaterials mit Hilfe von Kennwerten zu charakterisieren. Das Ausmass und die Richtung (Verbesserung, Verschlechterung) der durch eine Auffüllung zu erwartenden Änderungen der Standorteigenschaften bestimmen die Eignung dieses Vorhabens (Handlungskriterien). Folgende Eigenschaften sind massgeblich:

Organische Böden: - Sackungsverhalten: Ausmass, Variabilität;
- Verdichtung, Entstehung von Stauwasserzonen.

Auffüllmaterial: - Bodenart (Anhang [5.2-1] enthält gängige Kategorien zur Bewertung der Bodenart);
- Auffüllhöhe.

5.2.4 Entscheid

Eine Auffüllungsmassnahme ist grundsätzlich dann geeignet, wenn sie zu einer Verbesserung der Situation führt und das angestrebte Nutzungsziel erreicht werden kann (positive Bewertung unter 5.2.3). In die Entscheidung werden Handlungsalternativen miteinbezogen (Kap. 4.3).

6. Die Untersuchungsstandorte - Istzustand und voraussichtliche Entwicklung

6.1 Charakteristika der Standorte im Überblick

Die Standorte repräsentieren typische Landschaftsformen für organische Böden im Kanton Zürich und sind über das Kantonsgebiet verteilt. Lage und Einmessung der Standorte sowie die Orientierung des Beprobungsrasters geht aus Anhang [6.1-1] hervor. Darstellung 6.1-1 fasst Charakteristika der Standorte zusammen. Unterschiede werden besonders bezüglich der Torfmächtigkeiten und des mineralischen Untergrundes deutlich.

Darstellung 6.1-1: Charakteristika der Untersuchungsstandorte

Standort "Flurbezeichnung"	Landschaftsform	Nutzung	Torfmächtig- keit* [cm]	Überwiegende Bodenart des Untergrundes
Benken "Im gälen Buck"	Moränenlandschaft, verlandeter See	Acker	73	sandiger Lehm und Lehm
Bonstetten "Langmatten"	alluviale Ebene in Moränenlandschaft	Acker	5	Schluff und lehmiger Schluff
Gossau/Grüt "Allenwinden"	verlandeter See über Grundmoräne	Kunstwiese	21	Schluff (Seekreide)
Oberglatt "Allmend"	verlandeter See, leicht gewelltes Moränen- hügelland	Acker	11	lehmiger Schluff bis toniger Lehm
Rifferswil "Moos"	abflusslose Senke in Moränenlandschaft	Kunstwiese	61	lehmiger Sand, toniger Lehm

*Mittelwerte aus allen Beprobungspunkten pro Standort

6.2 Landwirtschaftliche Nutzung der Standorte - Bodennutzungsprotokolle

Angaben aus den Bodennutzungsprotokollen sind in Darstellung 6.2-1 zusammengefasst. Die vollständigen Bodennutzungsprotokolle finden sich im Anhang [6.2-1].

Aus der Befragung zum Zustand der Standorte werden Vernässungsprobleme an drei Standorten offenbar (Bonstetten, Gossau, Rifferswil). Terrainabsenkungen werden in Oberglatt beobachtet. In Bonstetten wird mineralischer Unterboden hochgearbeitet. Die Zeitspanne der Entwässerung lässt für alle Standorte auf eine bereits längere Moorsackungsphase (ca. 50 - 100 Jahre) schliessen.

Standort "Flurbezeichnung"	Nutzung		Bodenbearbeitung / Düngung	Meliorations- massnahmen	Angaben zur Parzelle
	seit (Jahr)	Typ, Fruchtfolge (Zwischenfrucht)			
Benken "Im gälen Buck"	ca. 1915 Linie A-D	Integrierte Produktion: Kunstwiese, Mais, Weizen (Zwischenfutter), Zuckerrüben	Grubber, bei Gründungsbruch Pflug; max. Bearbeitungstiefe: 25 cm/ mineralische und organische Düngung	drainiert seit 1925, eventuell seit 1870, Erneuerung der Drainage 1976	Zwischen den Kriegen Übersandung des Gebietes: Sand aus Quarzsandwerk wird mit Dorfbach zugeführt.
Bonstetten "Langmatten"	ca. 1900 Linie D-H Linie H-J	Weizen (Senf)	Pflug, Grubber, Kreiselegge; max. Bearbeitungstiefe: 20 cm/ mineralische und organische Düngung	drainiert seit 1940	Auftreten von Vernässungen , mineralischer Unterboden wird hochgearbeitet . Massnahmen zum Erhalt der Humusschicht werden als notwendig erachtet, es wurden jedoch keine Ertragsrückgänge festgestellt
Gossau/Grüt "Allenwinden"	1946 (vorher Moor und Abtorf- gebiet)	Konventionell: Kunstwiese und Mais	Pflug, Egge; max. Bearbeitungstiefe: 25 cm/ mineralische und organische Düngung	drainiert seit 1940	Auftreten von Vernässungen ; keine Ertragsrückgänge; Terrainabsenkung ca. 45 cm
Oberglatt "Allmend"	?	Integrierte Produktion: Kunstwiese, Weizen, Kartoffeln/Zwiebeln, Weizen, Zuckerrüben	Grubber, Pflug, Rotationsgeräte / mineralische, organische und Gründüngung	drainiert seit 1920; teilweise Bewässerung	Bachüberflutung in den Jahren 1994, '95; leichte Terrainabsenkung beobachtet
Rifferswil "Moos"	?	Konventionell: Kunstwiese und Mais	Pflug; max. Bearbeitungstiefe: 25 cm/ mineralische und organische Düngung	Drainage wird teilweise laufend erneuert	Bei Regen an vielen Stellen sofort stehendes Wasser

Darstellung 6.2-1: Landwirtschaftliche Nutzung der Untersuchungsstandorte. Angaben aus Bodennutzungsprotokollen (siehe Anhang [6.2-1])

6.3 Ergebnisse der Felduntersuchung

6.3.1 Benken

Die Ergebnisse der Feldaufnahmen sind für den Standort Benken an dieser Stelle beispielhaft in Form von Flächendarstellungen und Tiefenprofilen wiedergegeben. Für die Standorte Bonstetten, Gossau, Oberglatt und Rifferswil finden sich entsprechende Visualisierungen in Aufklappseiten im Anhang [6.3-1 bis 6.3-4]. Häufigkeitsverteilungen der Torfmächtigkeiten sowie statistische Masszahlen zu den Torfmächtigkeiten sind für alle Standorte in den Darstellungen 6.3-3 und 6.4-4 wiedergegeben. Im folgenden wird der Standort Benken hinsichtlich wesentlicher Eigenschaften kurz charakterisiert. Die Eigenschaften der anderen Standorte sind in Darstellung 6.3-5 zusammengefasst.

6.3.1.1 Zustand

Torfvorkommen und Torfmächtigkeiten

Charakteristisch für den Standort Benken ist eine leichte Geländeerhebung ("Gäle Buck") ohne Torf umgeben von z.T. mächtigen Torfschichten.

Vorkommen von Torfschichten: 78 % der Beprobungspunkte weisen Torfschichten auf. Eine torffreie Fläche (22 %) ist zusammenhängend und wird durch den Rücken aus lehmigem Sand bis Lehm gebildet (Flurbez.: "Gäle Buck") (Darst. 6.3-2, 6.3-3 u. 7.3-1).

Torfmächtigkeiten: Tieftorfig (> 100 cm) sind 42 % der Beprobungspunkte. Ca. 25 % weisen Torfmächtigkeiten > 2 m auf. Die mittlere Torfmächtigkeit der Beprobungspunkte mit Torf beträgt 94 cm mit einem Minimum von 19 cm und einem Maximum von > 200 cm. Die Standardabweichung beträgt 52 cm, was auf stark variierende Torfmächtigkeiten schliessen lässt.

Räumliche Verteilung der Torfmächtigkeiten: Die Häufigkeitsverteilung der Torfmächtigkeiten vermittelt ein zweigeteiltes Bild (Darst. 6.3.4), welches sich räumlich in den Flächendarstellungen und den Tiefenprofilen widerspiegelt (Darst. 6.3.1 u. 6.3.2). Danach ist eine deutliche Linie zwischen tieftorfigen und weniger tieftorfigen Bereichen - welche wiederum ein kleineres tieftorfiges Gebiet umschliessen - zu erkennen. Insgesamt sind die Verhältnisse auf dieser Fläche sehr variabel.

Schichtaufbau, Torfqualität

Die Bearbeitungsschicht (0 - 30 cm Tiefe) wird gut zur Hälfte durch antorfige (10 - 30 % Humus) Lagen bestimmt. Dies ist als Folge früherer Übersandungen (siehe Darst. 6.2.1) und relativer Anreicherungen (Torfmineralisation) von Mineralerde interpretierbar.

Die Torfe sind überwiegend stark zersetzt, von schwammig-schmieriger, im Oberboden von bröckelig-krümeliger Struktur, was auf deutliche Veränderungen der ursprünglichen Torfe schliessen lässt. Diese Aussage ist für alle Standorte verallgemeinerbar. Einzig in Rifferswil fanden sich im tieftorfigen Untergrund weniger stark zersetzte Torfe.

Mineralischer Untergrund

Der mineralische Untergrund wird überwiegend durch kalkhaltige sandige Lehme und Lehme bestimmt. Stellenweise kommen tonigere Schichten vor. Derartige Wechsellagen sortierten Materials sind typisch für Sedimentation in Wasser. Für die aktuelle Nutzung ist der mineralische Untergrund lediglich im Bereich des "Gälen Bucks" relevant.

Wassersättigung

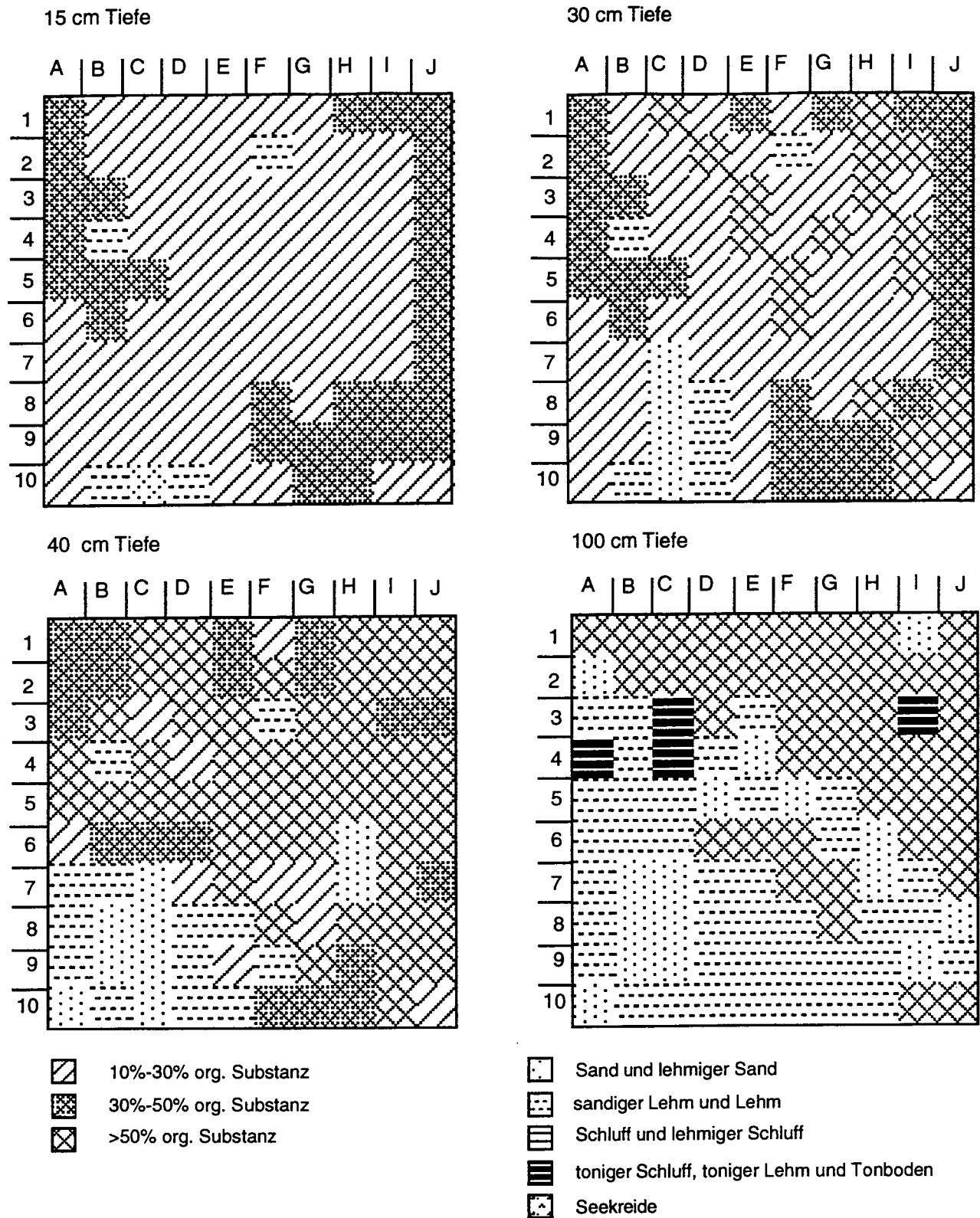
An 38 Beprobungspunkten wurde am Tag der Feldaufnahme Austritt von Wasser beobachtet. Die mittlere Tiefe unter Terrain betrug 70 cm (min. 40 cm, max 100cm). Aufgrund dieser Beobachtung kann man davon ausgehen, dass Vernässungen die landwirtschaftliche Nutzung nach Niederschlagsperioden vor allem im Frühjahr beeinträchtigen.

Landwirtschaftliche Nutzungseignung

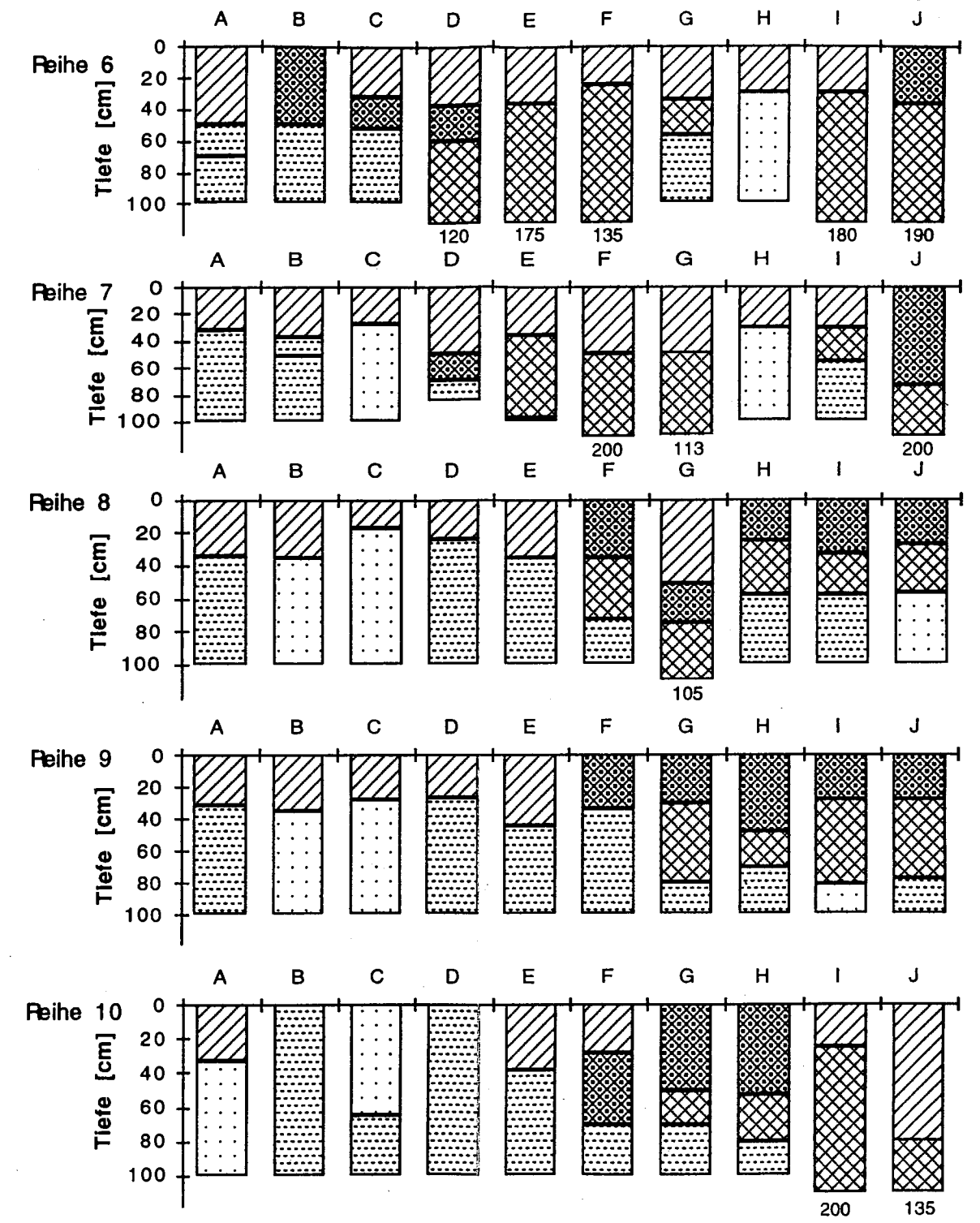
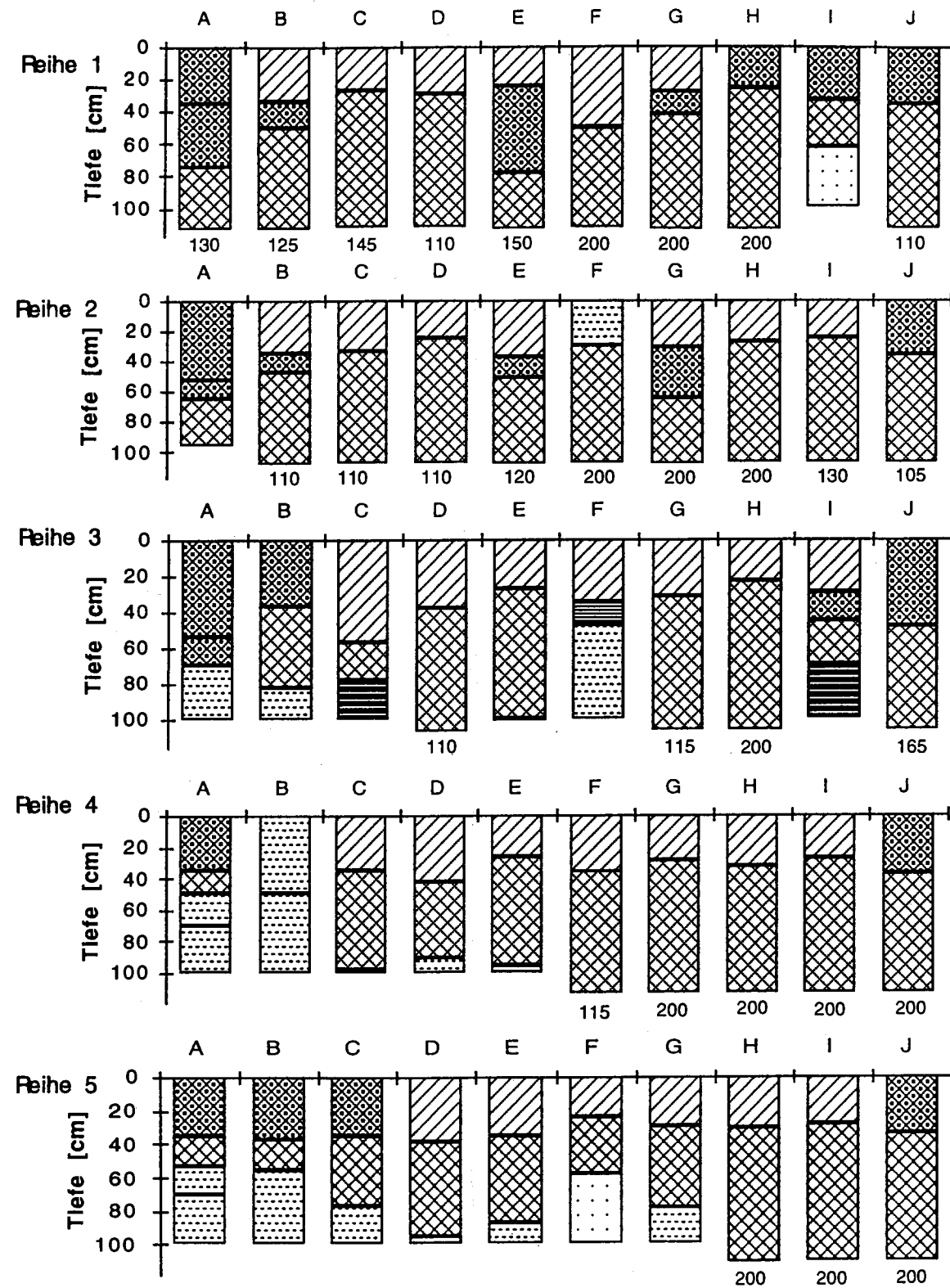
Die landwirtschaftliche Nutzungseignung wird durch hohe Humusgehalte (> 30 %) sowie durch den eingeschränkten Wurzelraum (physiologische Gründigkeit) aufgrund von Vernässungen limitiert (ziemlich flachgründig: 30 - 50 cm): Nutzungseignungsklasse 7, futterbauliche Nutzung. Die aktuelle Nutzung (Ackerbau) ist demnach nicht standortgerecht.

6.3.1.2 Entwicklung

Aufgrund der noch überwiegend grossen Torfmächtigkeiten werden die Eigenschaften dieser Fläche - mit Ausnahme des "Gälen Bucks" - in näherer Zukunft weiterhin durch die Prozesse der Moorsackung geprägt. Zunehmende Reliefbildung und vor allem zunehmende Staunässeneigung werden die landwirtschaftliche Nutzungseignung weiter beeinträchtigen. In Kapitel 7 wird eine Prognose der Moorsackung und der Reliefveränderung vorgestellt.



Darstellung 6.3-1: Flächendarstellung Standort Benken: Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche



- 10%-30% org. Substanz
- 30%-50% org. Substanz
- >50% org. Substanz
- Sand und lehmiger Sand
- sandiger Lehm und Lehm
- Schluff und lehmiger Schluff
- toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
- Seekreide

Darstellung 6.3-2: Tiefenprofile Standort Benken: Schichtaufbau an den Beprobungspunkten

6.3.2 Bonstetten, Gossau, Oberglatt und Rifferswil

Relevante Eigenschaften aller Standorte sind in Darstellung 6.3-5 zusammengestellt. Flächendarstellungen sowie Tiefenprofile befinden sich im Anhang [6.3-1 bis 6.3-4]. Weitere Angaben sind den Darstellungen 6.3-3 und 6.3-4 zu entnehmen.

Der Standort **Bonstetten** befindet sich hinsichtlich der Moorsackung nahezu im Endstadium. Längerfristig ist eine Stabilisierung der Humusgehalte zu erwarten. Es wurden nur vereinzelt Torflagen gefunden. Die weitere Bodenentwicklung an diesem Standort wird durch wechselnde Fremdnässe geprägt. Der Bodentyp ist ein anmooriger (10 - 30 % Humus) Gley. Falls der Bodenwasserhaushalt geregelt werden kann (Drainage), ist eine zunehmende Strukturierung des humosen, schluffigen bis lehmig-schluffigen Bodens anzunehmen und somit eine Verbesserung der Situation zu erwarten.

Charakteristisch für **Gossau** ist eine ganzflächige Seekreideunterlage, die bei fortschreitender Moorsackung die Standorteigenschaften in absehbarer Zeit (1-2 Jahrzehnte) wesentlich verändern wird. Seekreide ist aufgrund der physikalischen (schluffiges Substrat) und chemischen (einseitiges Nährstoffangebot) Eigenschaften als ungünstig zu bewerten. Zunächst werden die Prozesse der Moorsackung die Standorteigenschaften durch Verdichtung und Staunässebildung kontinuierlich verschlechtern. Eine intensive Nutzung wird künftig nur mit hohem Aufwand möglich sein (Entwässerung, Düngung).

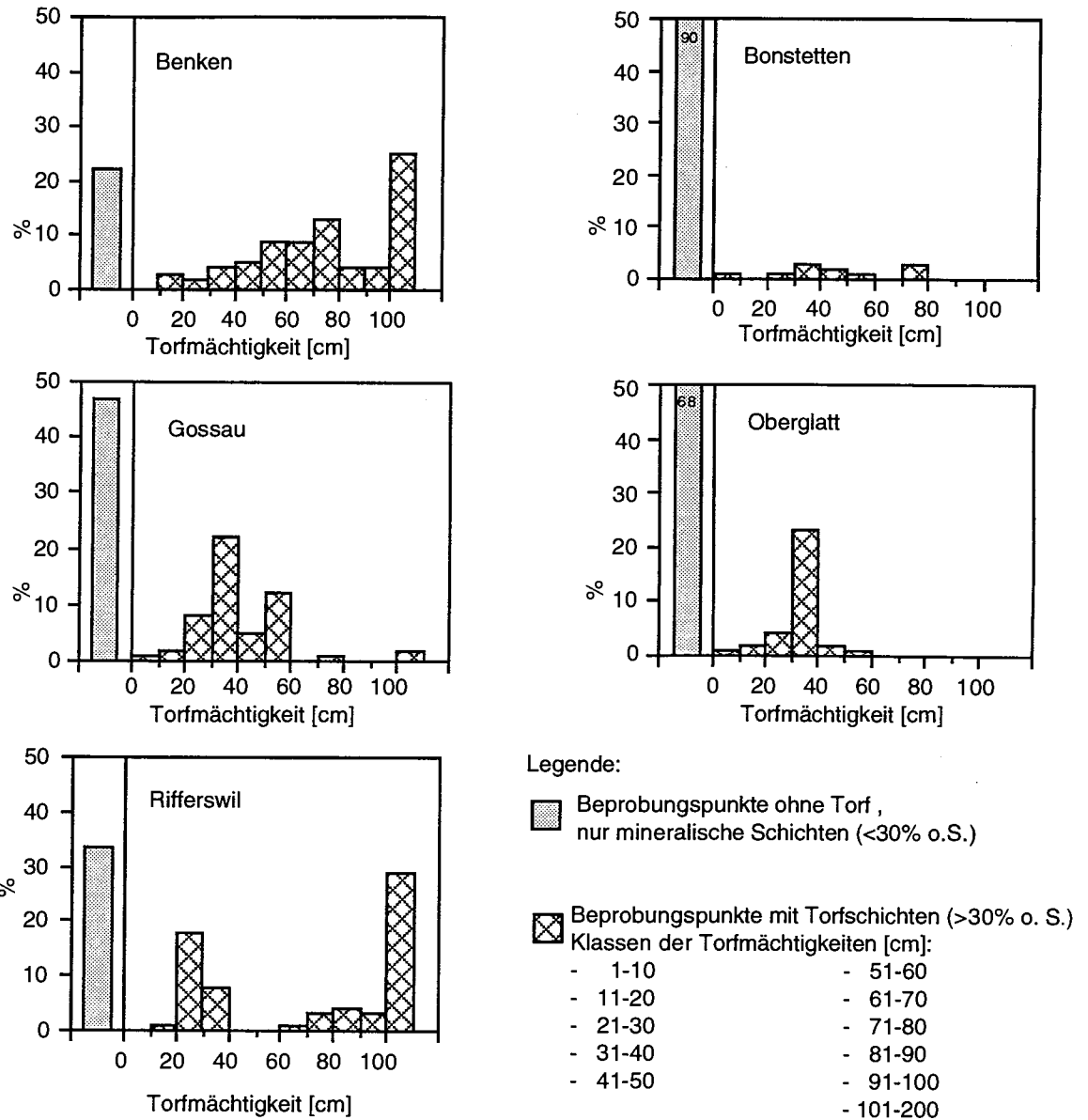
In **Oberglatt** dürfte eine einheitliche Bewirtschaftung des Standortes zunehmend problematisch werden. Während die Torfschichten auf 2/3 der Fläche weitgehend abgebaut sind und hier die Bodenart keine wesentlichen Einschränkungen verursachen dürfte, wird die restliche, zusammenhängende Fläche durch ziemlich geringmächtige Torfschichten auf einer Seekreideunterlage geprägt. Diese Fläche ist heute als Geländedepression erkennbar. Die Sackung wird sich in diesem Bereich weiter fortsetzen, und es wird vermehrt Seekreide an die Oberfläche gearbeitet werden. Ungünstig wirken sich also sowohl Vernässungen als auch die Seekreideeigenschaften aus.

In **Rifferswil** ist die Zerteilung der Fläche in eine höher und eine tiefer gelegene Hälfte augenfällig. Verantwortlich hierfür sind ehemalige Abtorfungen. Die Häufigkeitsverteilung der Torfmächtigkeiten (Darst. 6.3-4) spiegelt dieses Bild wider. Staunässeprobleme, welche bereits aus den Angaben des Bewirtschafters deutlich werden, werden sich verschärfen. Ungünstig ist in diesem Zusammenhang der überwiegend tonige Untergrund. Auf der antorfigen Hälfte (Torfmächtigkeiten < 40 cm) wird sich die Bodenentwicklung Richtung Gley fortsetzen. Die Eigenschaften der tieftorfigen Lagen werden von den Prozessen der Moorsackung geprägt. D.h. Vernässung und Reliefbildung werden sich verstärken.

	Tiefe [cm]	organische Substanz			Bodenart					Σ
		10%- 30%	31%- 50%	>51%	S, IS	sL, L	U, IU	tL, tU, T	See- kreide	
Benken	15	66	29	-	1	4	-	-	-	100
	30	45	27	18	4	6	-	-	-	100
	40	10	19	49	9	13	-	-	-	100
	100	-	-	42	16	38	-	4	-	100
Bonstetten	Tiefe	organische Substanz			Bodenart					
	15	100	-	-	-	-	-	-	-	100
	30	95	1	-	-	-	4	-	-	100
	40	51	7	-	2	-	40	-	-	100
	100	-	-	-	7	4	89	-	-	100
Gossau	Tiefe	organische Substanz			Bodenart					
	15	54	44	-	-	1	1	-	-	100
	30	38	38	1	-	-	-	-	23	100
	40	8	17	5	-	-	-	-	70	100
	100	-	1	4	-	-	-	-	95	100
Oberglatt	Tiefe	organische Substanz			Bodenart					
	15	70	30	-	-	-	-	-	-	100
	30	29	26	-	-	-	26	18	1	100
	40	2	2	1	-	-	35	44	16	100
	100	-	-	-	-	1	41	48	10	100
Rifferswil	Tiefe	organische Substanz			Bodenart					
	15	26	55	11	-	5	2	1	-	100
	30	11	33	25	3	8	4	16	-	100
	40	2	-	39	3	10	6	40	-	100
	100	-	-	31	30	7	5	27	-	100

Legende: S Sand IU lehmiger Schluff
 IS sandiger Lehm tL toniger Lehm
 L Lehm tU toniger Schluff
 U Schluff T Tonboden

Darstellung 6.3-3: Prozentuale Anteile der Beprobungspunkte mit Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorigen Schichten (10-30 % Humus) und mineralischen Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche bei total 100 Bohrungen.



Torfmächtigkeiten [cm]: Statistische Kennwerte der fünf Standorte

	Beprobungspunkte mit Torf					Alle Beprobungspunkte				
	Mittel [cm]	Std. abw. [cm]	Min. [cm]	Max. [cm]	Anzahl	Mittel [cm]	Std. abw. [cm]	Min. [cm]	Max. [cm]	Anzahl
Benken	94	51.8	19	200	77	73	60.2	19	200	100
Bonstetten	46	21.8	10	76	10	5	16.1	10	76	100
Gossau	40	18.2	7	100	53	21	24.2	7	100	100
Oberglatt	33	8.8	8	57	32	11	16.4	8	57	100
Rifferswil	92	58.4	19	194	66	61	65.6	19	194	100

Darstellung 6.3-4: Häufigkeitsverteilung der Torfmächtigkeiten an den Untersuchungsstandorten sowie statistische Masszahlen

Standort	Torfschichten					Mineralischer Untergrund		Wasser-sättigung [cm]	Nutzung		Entwicklung, Merkmale
	Vorkommen % Fläche	Mächtigkeit [cm]	räumliche Verteilung***	Qualität	Bodenart**	räuml. Verteilung***	Eignungs-kategorie		standort-gerecht		
Benken	77	94	52	sehr variabel, tieftorfige und weniger tieftorfige Zonen	überwiegend stark zersetzt	vorwiegend sandige Lehme u. Lehme	relativ homogen	40 - > 100 cm	7: Futterbau	nein	Verschlechterung: Torfabbau, zunehmend Staunässe
Bonstetten	10	24	22	über die Fläche verteilt	stark zersetzt	Schluff u. lehmiger Schluff	relativ homogen	keine Wasser-sättigung; stark gleyig, Reduktionssfarben,	6: stark limitierend für Ackerbau	nein	keine wesentliche Änderung, Anmoorgley, Stabilisierung der Humusgehalte, labiler Unterboden gewinnt an Bedeutung, Grundwassereinfluss
Gossau	53	40	18	variabel	stark zersetzt	Seekreide (Schluff)	gesamte Fläche	65 - > 100 cm	7: Futterbau	(ja)	Verschlechterung: fortschreitende Torfsackung, Staunässe, ungünstiger Untergrund
Oberglatt	32	33	9	Torffläche ist zusammenhängend und relativ homogen	stark zersetzt	toniger Lehm u. toniger Schluff (ca. 50%), Schluff u. lehmiger Schluff (ca. 40%), Seekreide (ca. 10 %)	sehr variabel	keine Wasser-sättigung beobachtet	7: Futterbau	nein	Verschlechterung: Vernässung und ungünstiger Untergrund im Bereich der Torffläche
Rifferswil	66	92	58	variabel, deutliche Zweiteilung in tieftorfige und weniger tieftorfige Flächen	überwiegend stark zersetzt, tieftorfige Lagen im Untergrund schwach zersetzt	überwiegend lehmiger Sand und toniger Schluff bis toniger Lehm	sehr variabel	28 - > 100 cm	7: Futterbau	(ja)	Verschlechterung: Zweiteilung der Fläche: 1. Entwicklung Richtung anmoor Gley; Vernässung 2. Fortsetzung der Torfsackung; Verdichtung, Vernässung

*Angaben zum Mittelwert und zur Standardabweichung beziehen sich auf Beprobungspunkte mit Torfschichten (siehe hierzu auch Darst. 6.3-4)

**Angaben zur Bodenart beziehen sich auf Darst. 6.3-3

***Beurteilung der räumlichen Verteilung beruht auf Visualisierungen der Daten (Darst. 6.3-1 u. 6.3-2 sowie Anhänge [6.3-1 bis 6.3-4])

Darstellung 6.3-5: Zusammenfassung wesentlicher Eigenschaften der Standorte.

7. Abschätzung der Moorsackung: Standort Benken

7.1 Moorsackung 1929 - 1996

Die Melioration (Entwässerung) des Benkener Riedes wurde von Mai 1928 bis Januar 1929 ausgeführt. Als Bemessungszeitraum für die Moorsackung sind demzufolge 67 Jahre anzunehmen. Niveauveränderungen zeigen sich aus einem Vergleich des Werkplanes zur Melioration aus dem Jahre 1926 und der aktuellen Aufnahme vom Januar dieses Jahres (siehe hierzu Kap. 5.1.5 im Methodenteil).

Die Resultate dieses Vergleichs zeigt Darstellung 7.1-1. Demnach ist es im Vergleichszeitraum (67 Jahre) zu maximalen Sackungen von gut 80 cm gekommen. Die mittlere jährliche Sackungsrate beträgt ca. 0.9 cm (bezogen auf Beprobungspunkte mit Torf). Dieser Wert liegt im Bereich dessen, was man unter den klimatischen Bedingungen in der Schweiz erwarten kann.

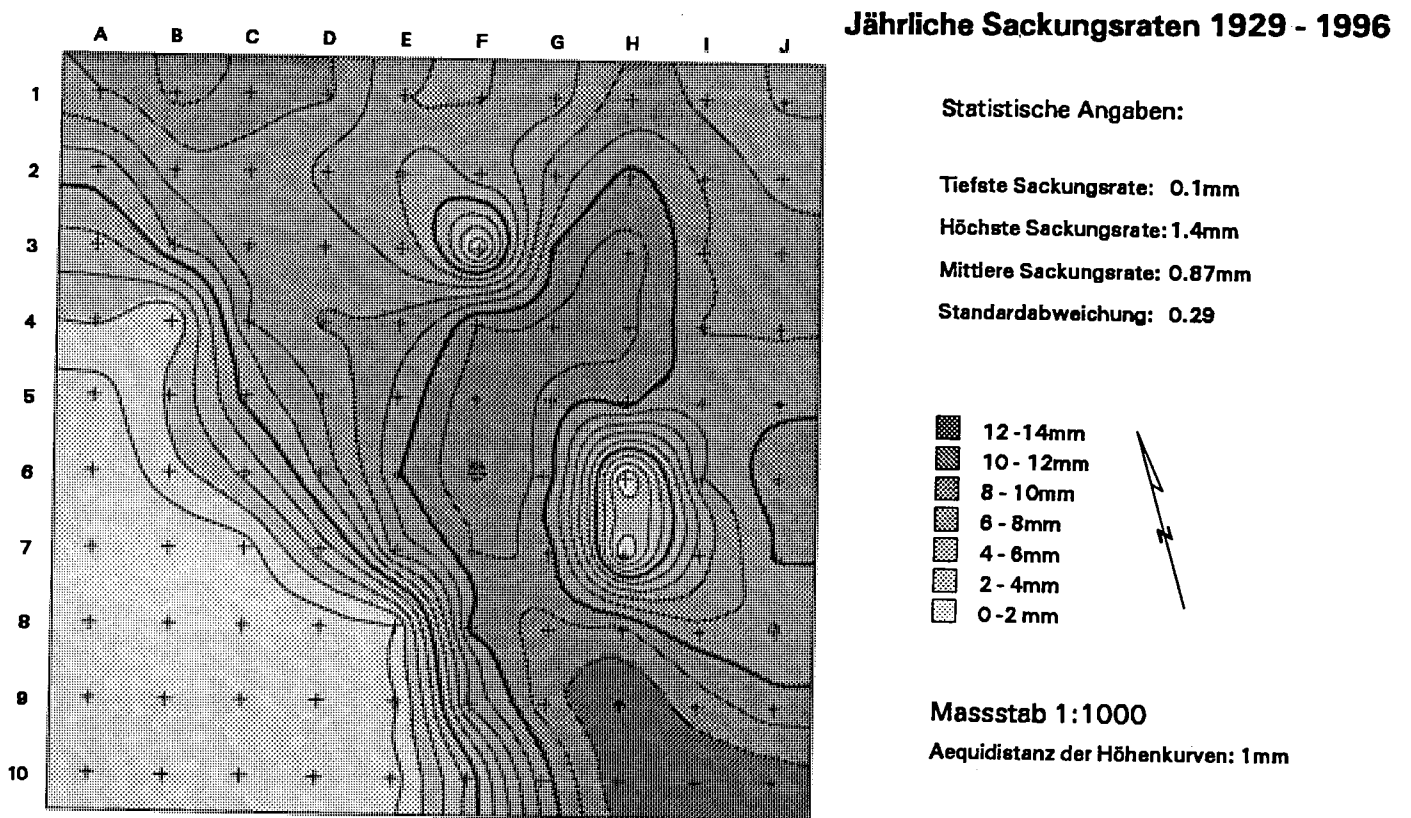
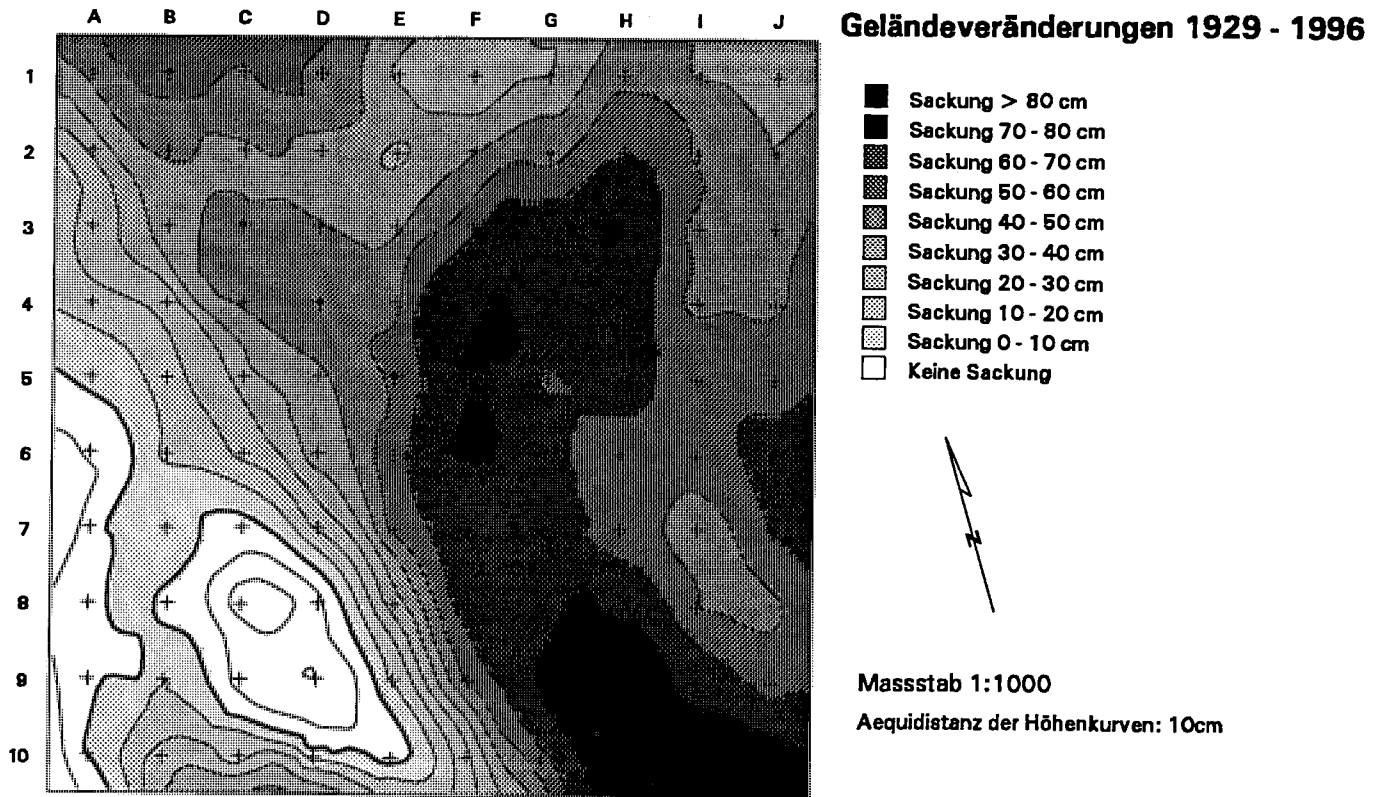
7.2 Torfmächtigkeiten 1996 und 2046 - Eine Prognose

Darstellung 7.2-1 zeigt die aktuellen, in dieser Untersuchung erhobenen Torfmächtigkeiten sowie eine Prognose der Torfmächtigkeiten für das Jahr 2046. Dieser Prognose liegen die geschätzten jährlichen Sackungsraten aus Darstellung 7.1-1 zugrunde, welche linear für die nächsten 50 Jahre extrapoliert wurden. Im Mittel kommt es demnach ca. zu einer Halbierung der gegenwärtigen Torfmächtigkeiten.

7.3 Reliefveränderungen: 1926 - 1996 - 2046

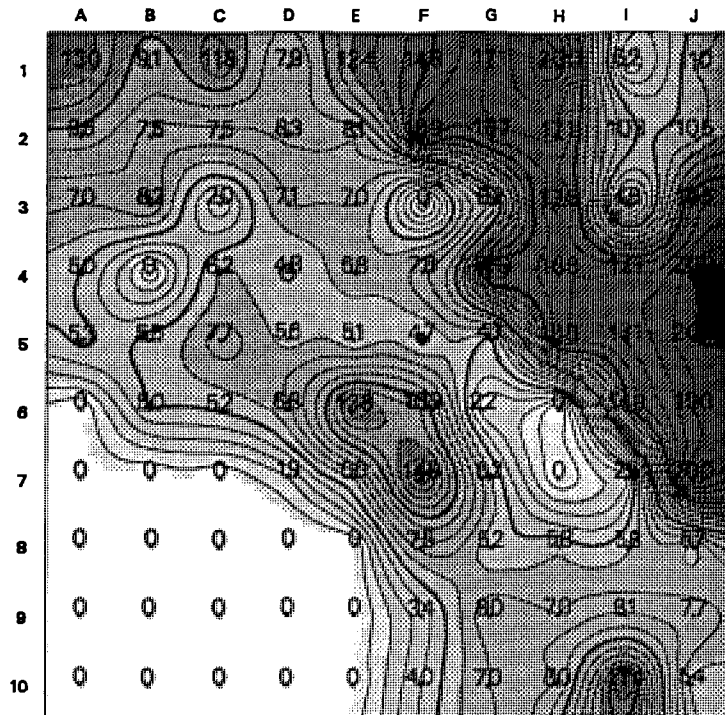
Die Reliefdarstellungen aus den Jahren 1926, 1996 sowie die Prognose für 2046 zeigen die Dynamik der Moorsackung (Darstellung 7.3-1 und 7.3-2). Während die Depression von 1926 im Bereich E2 im Jahr 1996 aufgrund der Moorsackung angrenzender Bereiche nicht mehr vorhanden ist, setzte sich die Terrainabsenkung auf einer Linie von ca. A4 nach D8 fort. Diese Tendenz zeigt sich in der Prognose für 2046 verstärkt und zudem mit der Ausbildung einer neuen Depression im Bereich G4. Tieftorfige Lagen zeigen die stärksten Sackungen.

Es sei an dieser Stelle nochmal darauf hingewiesen, dass die absoluten Höhenangaben von 1926 korrigiert werden mussten (siehe Kap. 5.1.5 im Methodenteil).



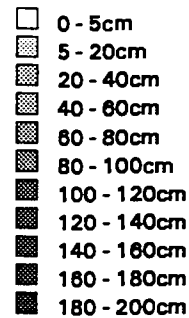
Darstellung 7.1-1: Standort Benken: Isolinien der Moorsackung. Sackung der Terrainoberfläche im Zeitraum von 1929 bis 1996 (oben) sowie jährliche Moorsackungsraten

Torfmächtigkeit 1996

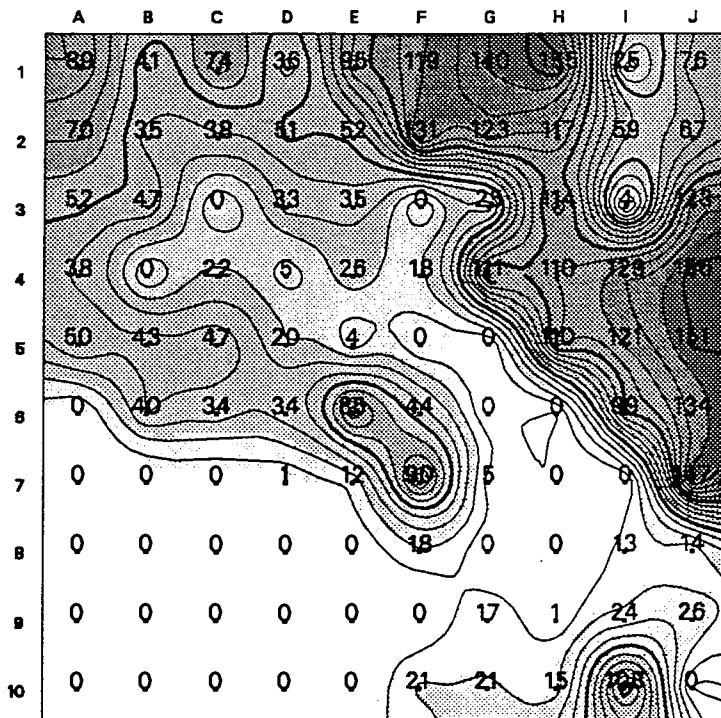


Statistische Angaben:

- Minimale Mächtigkeit: 19cm
- Maximale Mächtigkeit: 200cm
- Mittlere Mächtigkeit: 96.6cm
- Standardabweichung: 51.6



Torfmächtigkeit 2046



Statistische Angaben:

- Minimale Mächtigkeit: 0cm
- Maximale Mächtigkeit: 156cm
- Mittlere Mächtigkeit: 42.2cm
- Standardabweichung: 47.8

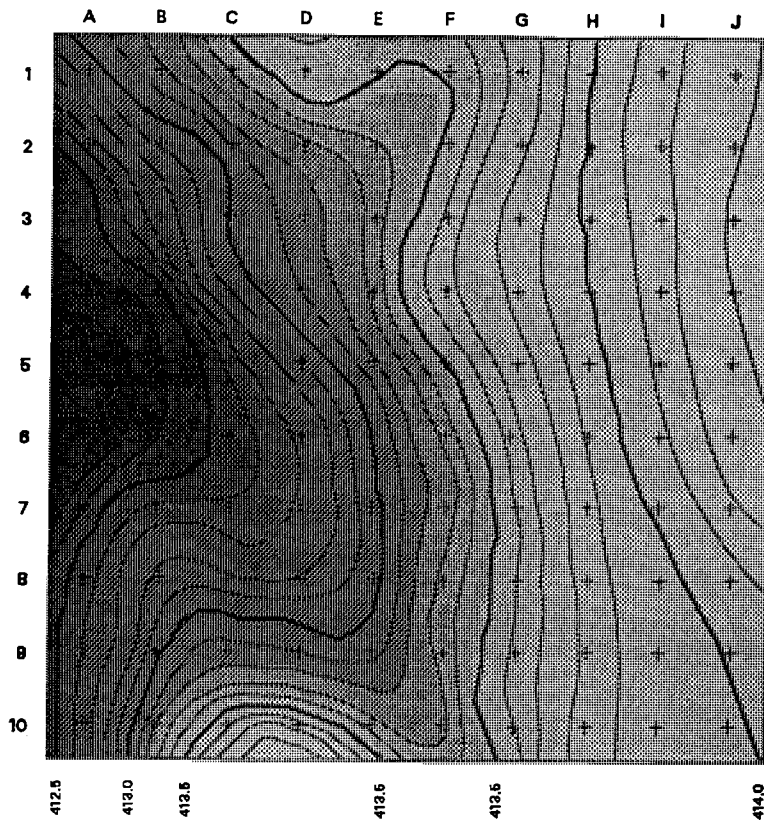


Masstab 1:1000

Aequidistanz der Höhenkurven: 10 cm

Darstellung 7.2-1: Standort Benken: Torfmächtigkeiten im Jahre 1996 und 2046

Relief 1926



Statistische Angaben:

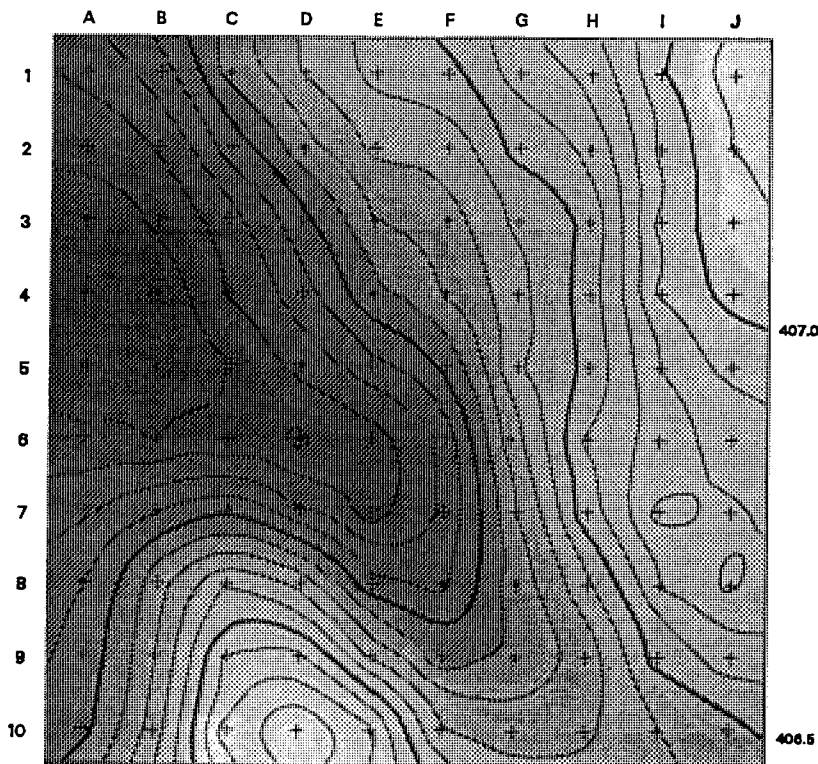
Tiefster Punkt: 412.2m
 Höchster Punkt: 414.4m
 Differenz: 2.2m
 Mittlere Höhe: 413.4m
 Standardabweichung: 0.58



Massstab 1:1000

Aequidistanz der Höhenkurven: 10 cm

Relief 1996

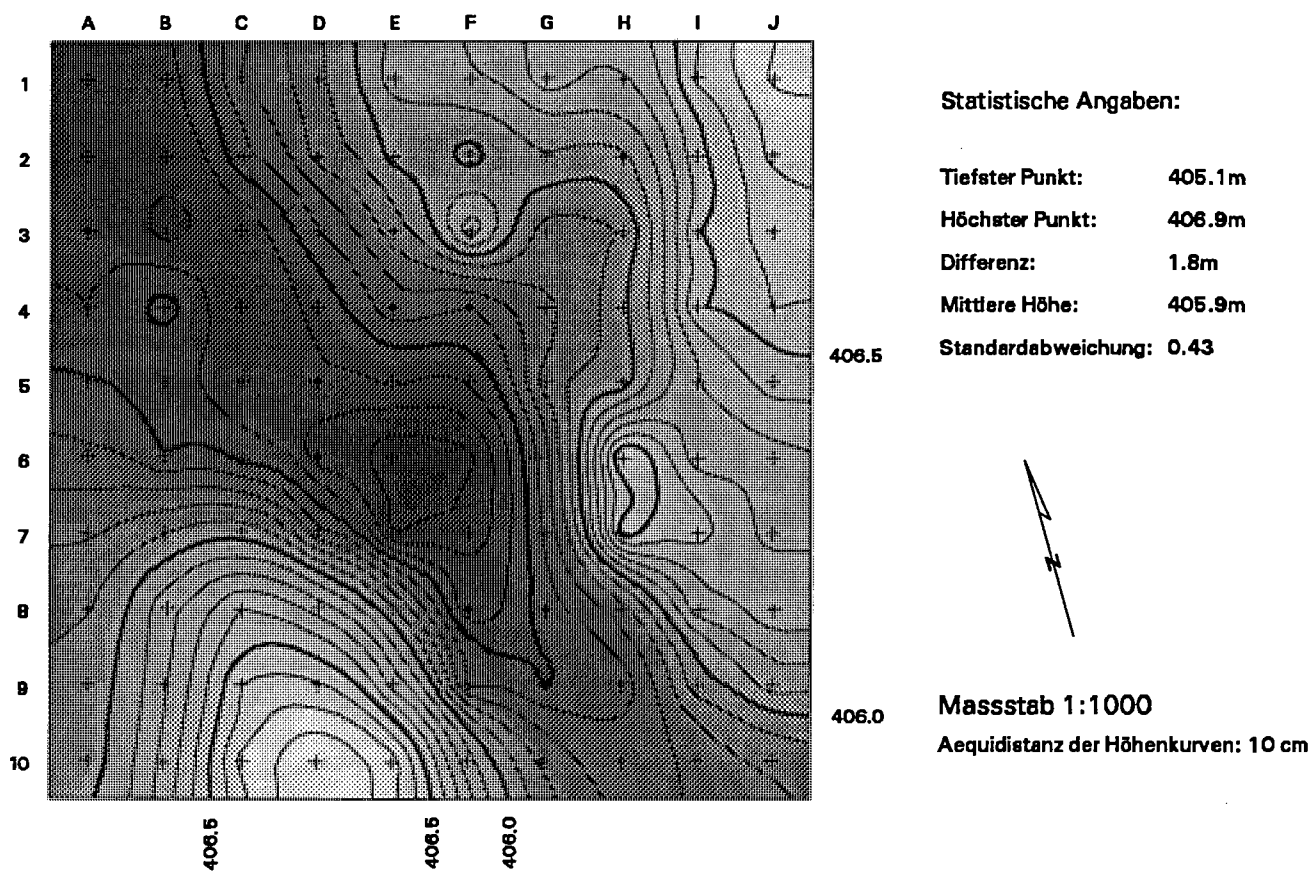


Statistische Angaben:

Tiefster Punkt: 405.5m
 Höchster Punkt: 407.1m
 Differenz: 1.6m
 Mittlere Höhe: 406.2m
 Standardabweichung: 0.43

Darstellung 7.3-1: Standort Benken: Das Relief im Jahr 1926 und 1996

Relief 2046



Darstellung 7.3-2: Standort Benken: Das Relief im Jahr 2046, eine Prognose

8. Fallbeispiele für die Beurteilung von Auffüllungsgesuchen

8.1 Die Untersuchungsstandorte

8.1.1 Beurteilung aufgrund der Standorteigenschaften

Im folgenden wird die grundsätzliche Eignung der Standorte für Auffüllungsvorhaben (Darstellung 8.1-1) bewertet. Grundlage hierfür ist Kap. 6.3 sowie die Kapitel 4.2.2 und 5.2.3 (S. 18).

Benken: Die heterogene räumliche Verteilung unterschiedlicher Torfmächtigkeiten wird stark ungleichmässige Sackungen bewirken. Die durch die Auflast bewirkte Verdichtung der Torfschichten wird grossflächig zu einer Stauwasserzone unmittelbar unter der Auffüllung führen. Die Gründigkeit - und damit die Nutzungseignung - des aufgefüllten Bodens wird massgeblich von der Auffüllhöhe abhängen. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass aufgefülltes Material infolge der Sackungen in permanenten Stauwasser-einfluss geraten dürfte und so die Gründigkeit vermindert wird. Durch ungleichmässige Sackungen werden wiederholt Planierungen und erneute Auffüllungen notwendig. Insgesamt sind die Voraussetzungen für Auffüllungen daher als ungünstig zu bezeichnen. Am geeignetsten dürfte eine Auffüllung analog einer Übersandung sein: 25 - 30 cm mächtige Auffüllung mit Sand oder lehmigem Sand. Zu prüfen wäre auch eine Planierung des "Gälen Bucks" und ein ebenfalls geringmächtiger Auftrag auf angrenzende organischen Flächen.

Bonstetten: Sackungsprozesse sind lokal von Bedeutung. Eine Verdichtungsgefährdung bzw. die Ausbildung von Stauzonen wird vor allem aufgrund der Bodenart in Verbindung mit hohen Humusgehalten (überwiegend 10 - 30 % im Oberboden) gesehen. Ein sachgerechter Auftrag geeigneten Bodens (< 25 % Ton) und eine Einarbeitung (Vermischung mit Oberboden) kann die Gründigkeit erhöhen und damit die Eigenschaften verbessern. Lokale Geländedepressionen infolge Moorsackung dürften nachträgliche Planierungen notwendig machen.

Gossau: Die Verhältnisse sind ähnlich zu beurteilen wie in Benken. Die Sackung dürfte allerdings gleichmässiger ausfallen. Dennoch werden wiederholt Planierungen und Auffüllungen notwendig, um lokale Nassstellen zu beseitigen.

Oberglatt: Kennzeichnend für Oberglatt ist eine überwiegend torffreie Fläche und eine etwas kleinere, zusammenhängende Fläche mit Torfvorkommen. Die Verhältnisse der torffreien Fläche sind vergleichbar mit Bonstetten. Allerdings ist die Vernässungsgefahr in Oberglatt aufgrund der Bodenart (toniger) grösser. Eine Auffüllung der Torffläche bewirkt Sackungen und Verdichtungen und damit die Ausbildung eines Staukörpers in diesem Bereich. Die Eignung einer Auffüllung ist wiederum von der Auffüllhöhe abhängig. Da die Torffläche zusammenhängend ist und sich zudem in einer Geländedepression befindet, wäre eine Auffüllung dieser Teilfläche als Verbesserungsmaßnahme denkbar. Dies um so mehr, da ungünstige Eigenschaften der Seekreideunterlage - wobei die Sackung der Seekreide ebenfalls zu berücksichtigen ist - in absehbarer Zeit die Nutzungseignung beeinträchtigen dürften. In der Darstellung 8.1-1 wurde daher die räumliche Verteilung der Torfschichten im Hinblick auf die Sackung, Verdichtung und Bildung von Stauwasserzonen als günstig bewertet.

Rifferswil: Hier ist aufgrund der Zweiteilung des Standortes in eine tieftorfige (> 90 cm) und eine flachtorfige (< 40 cm) Fläche mit deutlich unterschiedlichen Sackungen zu rechnen. Gesamthaft werden Auffüllungen die anstehenden Torfschichten verdichten und die bereits vorhandene Staunässe neigung verstärken. Beurteilung analog Benken. Bei entsprechenden Auffüllungshöhen sind grundsätzlich Verbesserungen möglich.

Darstellung 8.1-1: Bewertung von Standorteigenschaften im Hinblick auf Auffüllungen

Handlungskriterien															
	Sackungsverhalten					Verdichtung					Stauwasserzonen				
Standorte:	Be	Bo	Go	Ob	Ri	Be	Bo	Go	Ob	Ri	Be	Bo	Go	Ob	Ri
Standort-Eigenschaften															
<u>Torfschichten</u>															
Vorkommen	--	(-)	--	--	--	--	o	--	--	--	--	o	--	--	--
Mächtigkeit	--	(-)	--	-	--	--	o	--	--	--	--	o	--	--	--
Räumliche Verteilung	--	-	-	+	--	--	o	--	+	--	--	o	--	-	--
Qualität	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
<u>Mineralischer Untergrund</u>															
Bodenart	o	o	o-	o	o	+	-	--	-	-	+	-	o	--	o
Räumliche Verteilung	o	o	o-	o	o	+	-	-	-	-	+	-	o	o	o

Legende: -- = sehr ungünstig
 - = ungünstig
 o = von untergeordneter Bedeutung
 + = günstig

Be = Benken
 Bo = Bonstetten
 Go = Gossau
 Ob = Oberglatt
 Ri = Rifferswil

8.1.2 Abschätzung von Auffüllungshöhen und -volumina

Bei der Auffüllung von organischen Böden wird die Nutzungseignung wesentlich von der Gründigkeit des aufgefüllten Bodens und damit von der Auffüllhöhe abhängen. Um eine Vorstellung von den Dimensionen zu bekommen, wird an dieser Stelle eine Abschätzung der Auffüllhöhen und -mengen für Auffüllungsvorhaben an den Untersuchungsstandorten vorgenommen.

Annahmen:

1. Das Nutzungsziel ist mit der gegenwärtigen Nutzung der Standorte identisch.
2. Das Nutzungsziel bestimmt die Anforderungen an die pflanzennutzbare Gründigkeit (und Bodenart).
3. Die Ansprüche an die pflanzennutzbare Gründigkeit ergeben sich aus den Definitionen der Nutzungseignungsklassen, wobei Grund- und Stauwassereinflüsse berücksichtigt werden.
4. Es werden Sackungen angenommen, die 1/3 der Torfmächtigkeiten betragen. Diese Sackungsbeträge müssen zusätzlich durch Auffüllungsmaterial ausgeglichen werden: Reliefausgleich, Stauwassereinfluss. Es werden die mittleren Torfmächtigkeiten aus Darstellung 6.3-4 zugrundegelegt.
5. Mit Ausnahme von Oberglatt beträgt die Grösse der aufzufüllenden Flächen 10'000 m² (Grösse der Untersuchungsstandorte). Für Oberglatt wird lediglich die torfhaltige Teilfläche berücksichtigt.

Die Ergebnisse dieser Abschätzung sind aus untenstehender Darstellung (8.1-2) ersichtlich.

Darstellung 8.1-2: Schätzung von Auffüllhöhen / -volumina für die Untersuchungsstandorte

Standort	Standortanforderungen bzw. -eigenschaften						Auffüllung	
	Nutzungsziel	NE*	Pflanzen-nutzbare Gründigkeit [cm]	Fläche [m ²]	Ø Torf-Mächtigkeit [cm]	Sackung [cm]	Höhe (Sackung + Gründigkeit) [cm]	Volumen [m ³]
Benken	Acker	5	60	10'000	73	24	84	8'400
Bonstetten	Acker	5	60	10'000	5	2	62	6'200
Gossau	Kunstwiese	6	60	10'000	21	7	67	6'700
Oberglatt	Acker	5	60	3'000	33	11	71	2'130
Rifferswil	Kunstwiese	6	60	10'000	61	20	80	8'000

*Nutzungseignungsklasse

8.1.3 Beurteilung von Handlungsalternativen

Die Beurteilung basiert auf den in Kap. 4.3 ausgeführten Angaben und auf den Eigenschaften der Untersuchungsstandorte.

Sanddeckkultur (Übersandung) oder Tiefpflügen: Die Anforderungen an diese Kultivierungsverfahren werden aufgrund ungünstiger Bodenarten der Untersuchungsstandorte nicht erfüllt. Diese Verfahren stellen somit keine Alternativen dar.

Auffüllungen nach den Anforderungen (Bodenart, Auffüllhöhe) der Sanddeckkultur sind dagegen auf jedem Standort eine Alternative.

Schwarzkultur: Sämtliche Standorte werden als Schwarzkultur, d.h. direkte Nutzung nach Entwässerung, bewirtschaftet. Grundsätzlich sind weitere Entwässerungsmassnahmen bei unbefriedigenden Wasserverhältnissen denkbar. Genauere Abklärungen zur Entwässerungsfähigkeit (und auch der Vorfluterverhältnisse) eines Standortes und geeigneter Verfahren müssten gegebenenfalls geprüft werden. In Rifferswil und teilweise in Oberglatt wird die Entwässerungsfähigkeit durch relativ hohe Tongehalte beeinträchtigt. Eine Schwarzkulturnutzung ist jedoch in keinem Fall eine Lösung, um die Moorsackungsprozesse und damit ungünstige Entwicklungen zu bremsen.

Ökologische Ausgleichsflächen: Es ist davon auszugehen, dass die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden immer mit Umweltbelastungen verbunden ist. Im Sinne einer ökologischen Aufwertung der Region sowie bezüglich einer nachhaltigen Landwirtschaft und aus Grundwasserschutzgründen sind Extensivierungen in Form von ökologischen Ausgleichsflächen empfehlenswert. Im Einzelfall werden betriebswirtschaftliche Überlegungen entscheidend sein. Ausgehend von der heutigen agrarpolitischen Situation sind grössere Investitionen zur Bodenmelioration längerfristig, d.h. bei sinkenden Produktpreisen, nicht mehr rentabel. Entsprechende politische Signale sind mit Beiträgen zur Ausscheidung von ökologischen Ausgleichsflächen gesetzt.

8.2 Hypothetische Szenarien

8.2.1 Auffüllung von Mulden

Bei Auffüllungen von Mulden ist grundsätzlich zu beachten, dass die Auffüllhöhen in Abhängigkeit des Reliefs variieren. Werden Mulden innerhalb eines Torfgebietes aufgefüllt, so ist mindestens im Randgebiet der aufgefüllten Mulde mit Beeinträchtigungen durch hochanstehendes Stauwasser zu rechnen. Weiterhin ist zu beachten, dass un-

terhalb der Auffüllung verdichtete und weiter abgesackte Mulden verstärkt zu einem Sammelbecken für lateral fließendes Wasser werden. Insgesamt werden Auffüllungen von Mulden innerhalb einer zusammenhängenden Torffläche als problematisch betrachtet. Verschlechterungen der Nutzungseignung sind nicht auszuschließen. Bei torfhaltigen Mulden innerhalb eines ansonsten torffreien Gebietes werden günstige Bedingungen für Auffüllungen gesehen (siehe Ausführungen zum Standort Oberglatt).

8.2.2 Auffüllung wegen Vernässungen

Bei Vernässungen aufgrund hochanstehenden Grundwassers ist nach Moorsackung, Verdichtung und Ausbildung einer Stauwasserzone mit seitlichem Zufluss von Grundwasser zu rechnen. Die Auffüllung wird also in den Einflussbereich von Stau- und Grundwasser gelangen und so den Wurzelraum vermindern. Dies ist entsprechend bei der Beurteilung der Auffüllhöhen zu berücksichtigen. Die Auffüllhöhe bestimmt die Lage der Vernässungszone und damit die pflanzennutzbare Gründigkeit.

Bei stauwasserbedingten Vernässungen ist davon auszugehen, dass die Stauwassersohle durch die Auflast der Auffüllung weiter verdichtet wird, bzw. dass an der Grenzfläche Torf/Auffüllung eine neue Stauwassersohle entsteht. Das Problem der Staunässe bleibt bestehen. Durch die Auffüllungshöhe kann allerdings die Lage der Stauwassersohle im Sinne der landwirtschaftlichen Nutzungseignung beeinflusst werden. Bei derartigen Auffüllungen ist eine sachgerechte Planung zur Bemessung der Auffüllhöhen unter Berücksichtigung der Sackung und des kapillaren Wasseraufstiegs notwendig.

8.2.3 Auffüllung wegen ungünstiger Eigenschaften des mineralischen Untergrundes

Bezüglich der Bodenart sind sehr leichte Böden (Sand), Schluffböden und schwere Böden (> 40 % Ton) als ungünstig zu bezeichnen. Bezüglich der chemischen Eigenschaften sind saure und stark saure Böden sowie alkalische Böden im Hinblick auf den Nährstoffhaushalt ungünstig. Dies gilt vor allem für Seekreideunterlagen in Rifferswil und Oberglatt.

Derartige Auffüllungen sind wie Rekultivierungen zu betrachten. Die hydrologischen Verhältnisse am Ort, die Auffüllhöhe und die Bodenart des Auffüllmaterials bestimmen weitgehend die Nutzungseignung von aufgefüllten Böden.

9. Schlussfolgerungen

Zustand organischer Böden

1. Organische Böden sind mit mineralischen Böden oder bereits stark abgebauten, anmoorigen (10 - 30 % Humus) Böden vergesellschaftet. D.h., kleinräumige Substratwechsel sind typisch.
2. Sowohl zwischen verschiedenen Standorten als auch innerhalb eines Standortes ist mit deutlichen Variationen bezüglich folgender Kennwerte zu rechnen:
 - Mächtigkeiten der Torfschichten,
 - Bodenart des mineralischen Untergrundes oder eingelagerter Schichten.
3. Aufgrund der gemessenen Torfmächtigkeiten scheinen flachtorfige (40 - 90 cm) und antorfige (< 40 cm) landwirtschaftlich genutzte organische Böden zu dominieren.
4. Zersetzungsstufe und Struktur der Torfschichten indizieren auf allen Standorten fortgeschrittene Sackungsprozesse. Wenig zersetzte Torfschichten werden nur auf tieftorfigen Standorten im Einflussbereich des Grundwassers gefunden.
5. Die landwirtschaftliche Nutzungseignung wird in erster Linie durch Vernässungen beeinträchtigt.
6. Ca. 1/4 der untersuchten Flächen (50'000 m²) weisen Seekreideunterlagen auf, so dass von einer erheblichen Relevanz dieses Substrates für die künftigen Eigenschaften der Böden nach vollständigem Torfabbau ausgegangen werden kann. Desweiteren sind kleinräumige Wechsel von Bodenarten typisch, was auf Sedimentation in Wasser schliessen lässt. Ungünstig bezüglich der landwirtschaftlichen Nutzungseignung sind vor allem tonreiche Bodenarten, die zu Staunässe neigen.
7. Basierend auf der Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung ist die aktuelle Nutzung (Acker) organischer Böden weitgehend nicht standortgerecht.

Entwicklung organischer Böden

1. Es ist mit Torfabbauraten von ca. 1 cm pro Jahr zu rechnen.
2. Als Folge des Torfabbaus sind zunehmend unbefriedigende Verhältnisse für die Landwirtschaft zu erwarten: Vernässungen durch Stau- und Grundwasser.
3. In wenigen Jahrzehnten wird ein Grossteil der heute als Schwarzkultur genutzten organischen Böden infolge des Torfabbaus verschwunden sein.
4. Der mineralische Untergrund sowie die hydrologischen Verhältnisse bestimmen sodann die weitere Entwicklung. Typisch ist die Entstehung von Anmoorgleyen auf

tonigen Unterlagen. Bei Seekreideunterlagen ist von einer deutlichen Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung auszugehen.

Beurteilung von Auffüllungen organischer Böden

1. Weil die Nutzung organischer Böden als Schwarzkultur nicht standortgerecht ist und demzufolge stetige Verschlechterungen bewirkt, können den Standortverhältnissen angepasste Auffüllungen die landwirtschaftliche Nutzungseignung grundsätzlich verbessern.
2. Auffüllungen, welche die quantitativen (Auffüllhöhe) und qualitativen (Bodenart) Anforderungen nach Kap. 4.3.1 (Methoden der Nutzung) nicht erfüllen, bewirken Veränderungen der Bodeneigenschaften, welche im Sinne der landwirtschaftlichen Nutzungseignung als ungünstig zu bewerten sind:
 - Setzung der Torfschichten durch Auflast wird verstärkt,
 - Entstehung von Stauwasserzonen,
 - ungleichmässige Sackungen in Abhängigkeit vor allem von unterliegenden Torfschichten (Mächtigkeit, Qualität).
3. Stauwasserzonen beeinflussen je nach Mächtigkeit und Bodenart der aufgefüllten Schicht die hydrologischen Verhältnisse des aufgeschütteten Bodens. D.h. mit der Auffüllung wird ein neuer Boden geschaffen, der durch die hydrologischen Bedingungen des alten, zusammengedrückten Bodens beeinflusst wird. Die Auffüllung ist wie eine Rekultivierung zu betrachten: Der rekultivierte Boden wird in seinen Eigenschaften wesentlich durch die Auffüllhöhe, die Bodenart (u.a. kapillarer Wasseraufstieg) und die hydrologischen Verhältnissen am Ort bestimmt. Neben der Bildung von Stauwasserzonen ist die Moorsackung zu berücksichtigen. Ungleichmässige Torfmächtigkeiten führen zu ungleichmässigen Sackungen und beeinflussen so den Wasser- und Lufthaushalt (Bildung von Nassstellen). Wiederholte Planierungen und Auffüllungen werden notwendig.
4. Standorte mit stark variierenden Torfmächtigkeiten sind daher ungünstig für Auffüllungen. In der Berechnung der Auffüllungshöhen und beim Auffüllungsverfahren sind variierende Torfmächtigkeiten entsprechend zu berücksichtigen.
5. Weitgehend degradierte, antorfige (< 40 cm Torf) organische Böden mit ungünstigem mineralischem Untergrund (v.a. Seekreide) bieten sich für Auffüllungen an.
6. In der Bewilligungspraxis dürfte - abgesehen von politischen und ökologischen Überlegungen - in vielen Fällen das Volumen und die Qualität des zur Auffüllung

vorgesehenen Bodenmaterials sowie die Grösse der zur Auffüllung bestimmten Fläche entscheidend sein für die Abschätzung von Verbesserungen oder Verschlechterungen.

7. Übersandungen und Tiefpflügen sind aufgrund ungünstiger Bodenarten des mineralischen Untergrundes der Standorte keine Handlungsalternativen, um Verbesserungen der Standorteigenschaften zu erreichen.
8. Extensivierungen in Form von ökologischen Ausgleichsflächen sind empfehlenswert. Sie bedingen eine Anhebung des Grundwasserspiegels und bewirken daher eine Stabilisierung der Moorsackung und eine Verminderung der Umweltbelastung.

Handlungsbedarf bezüglich der Nutzung organischer Böden

1. Nach VSBo, Art. 2b, kann grundsätzlich ein Handlungsbedarf gesehen werden, da die Nutzung organischer Böden dem Prinzip der Langfristigkeit widerspricht.
2. Ein Handlungsbedarf ist grundsätzlich auch im Hinblick auf die Belastung anderer Umweltkompartimente zu sehen:
 - Mineralisationsbedingte Freisetzung von Nitrat, gasförmigen Stickstoffverbindungen und Kohlendioxid, potentielle Grundwasser- und Luftbelastung;
 - Freisetzung von akkumulierten Schadstoffen infolge des Torfabbaus: Schwermetalle, organische Schadstoffe. Einwaschung ins Grundwasser;
 - Erhaltung der Vielfalt von Bodenformen;
 - Artenvielfalt von Flora und Fauna.

Prozesse der Moorsackung können durch erneute Bewässerung bzw. Aufhebung der Entwässerung unterbunden werden. Extensivierungen sind ein Schritt in diese Richtung. Durch Auffüllungen dürfte ebenfalls eine Konservierung der Torfschichten um den Preis der Verschüttung erreicht werden.

Handlungsbedarf bezüglich Auffüllungen von organischen Böden

1. Auffüllungen von organischen Böden sind wegen der - im Vergleich zu mineralischen Böden - besonderen Eigenschaften (Sackung, Verdichtung) problematisch. Zur Beurteilung eines Auffüllungsvorhaben (Handlungskriterien) sind folgende Kennwerte geeignet:
 - *Bodenaushub* (Auffüllmaterial): Volumen, Bodenart, Skelettanteil, Humusgehalt, pH;
 - *Standorteigenschaften*: Grösse der Fläche, Torfmächtigkeiten auf der Fläche, Bodenart des mineralischen Untergrundes.

10. Empfehlungen

Die folgenden Empfehlungen leiten sich zum einen aus den Resultaten der vorliegenden Feldstudie ab und betreffen direkt die Nutzung bzw. Auffüllung organischer Böden. Zum anderen sind unseres Erachtens im Zusammenhang mit der Verwertung von überschüssigem Bodenaushub generelle Abklärungen notwendig. Auffüllungen organischer Böden stellen in diesem Zusammenhang Spezialfälle dar.

Generelle Empfehlungen im Hinblick auf die Verwertung von Bodenaushub.

- Bilanzierung: Abschätzung des (jährlichen) Flächenbedarfs bzw. des Bodenaushubvolumens (Ober-/Unterboden) für Auffüllungen.
- Beurteilung von grundsätzlich geeigneten Standorten: Definierung von Anforderungen an geeignete Standorte. Oder anders herum: Erstellung einer Liste von Standorten, die nicht überschüttet werden dürfen, z.B. auf der Basis von Bodenfruchtbarkeitsstufen, Pufferzonen (ökologische Aspekte) und weiterer (raumplanerischer) Grundlagen.
- Prospektive Beurteilung der Eignung des voraussichtlich anfallenden Bodenaushubs für Auffüllungen: Beurteilung der voraussichtlichen Qualität/Eignung (z.B. unter Verwendung des kantonalen GIS).
- Auffüllungen nur in auch längerfristig produktivem Landwirtschaftsgebiet: keine Auffüllungen in Bauzonen oder von Flächen, die voraussichtlich einer Extensivierung zugeführt werden. Weiterhin könnte z.B. geprüft werden, ob Flächen, die aufgeforstet werden sollen (Umnutzung oder nach Kahlschlag), geeignet wären.
- Beurteilung von Verfahren:
 - Geeignete Auffüllungsverfahren;
 - Bodenbörse. Zeitliche und räumliche Koordinierung von Bodenverschiebungen und Auffüllungen;
 - Erfolgskontrolle (Vorher/Nachher): bodenkundlich und z.B. über Ertragsvergleiche.


Empfehlungen zu organischen Böden

- Organische Böden mit folgenden Eigenschaften werden als grundsätzlich geeignet für Auffüllungen angesehen:
 - Bereits stark abgebaute, antorfige Böden (≤ 40 cm Torf) in Verbindung mit

- Seekreideunterlagen oder ungünstigen Bodenarten (sehr leicht, sehr schwer).
- Muldenlagen innerhalb eines Standortes mit mineralischen Böden.
- Verifikation der Handlungskriterien zur Beurteilung von Auffüllungen: Beurteilung von bereits aufgefüllten organischen Böden im Feld. Festlegung der Kennwerte zur objektiven Beurteilung von Auffüllungsvorhaben.
 - Erarbeitung von ingenieurtechnischen Eckwerten zur Bemessung der Auffüllhöhen:
 - Setzung (Kompressibilität der Torfschichten und von Seekreideunterlagen);
 - kapillare Aufstiegshöhe und -rate in Anhängigkeit von der Bodenart des Auffüllmaterials.
 - Festlegung von Kontrolleckdaten, z.B. präzise Formulierung der Gründigkeit.
 - Beurteilung des Belastungspotentials von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden:
 - Nitratbelastung des Grundwassers;
 - Schwermetalle und organische Schadstoffe.

In diesem Zusammenhang tragen Überschüttungen von organischen Böden womöglich zu einer Verminderung der Umweltbelastung bei.

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG
Geschäftseinheit Umwelt



Dr. J. Presler
Bereichsleiter Altlasten und Boden



Dr. U. Hoins
Projektleiter Altlasten und Boden

Bearbeitet durch:

Herr Dr. U. Hoins
Herr Dr. J. Presler
Herr S. Hoegger
Herr M. Gysi

Projektleitung
Qualitätssicherung
Feldarbeiten
Feldarbeiten/Auswertung

Literaturverzeichnis

1. AG-Bodenkunde 1994. Bodenkundliche Kartieranleitung. Arbeitsgruppe Bodenkunde der geol. Landesämter u. d. Bundesanstalt f. Geowissenschaften u. Rohstoffe in d. BRD: 392 Seiten, 4. Auflage.
2. Armstrong, D.W.; Watson, C.L. 1974. Peat subsidence following drainage of a South Australien fen. *Agricultural Record* 1: 4-7.
3. Avnimelech, Y.; Dasberg, S.; Harpaz, A.; Levin, I. 1978. Prevention of nitrate leakage from the Hula Basin. *Soil Science* 125: 223-239.
4. Baden, W. 1964. Entwässerung oder Wasserregelung in Moor- und Anmoorböden. *Mitteilng. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 2: 195-207.
5. Baden, W. 1958. "Deutsche Sandmischkulturen" (Tiefpflugkulturen) nur unter entsprechenden Voraussetzungen. *Wasser u. Boden*, 10: 349-353.
6. Baden, W.; Eggelsmann, R. 1963. Zur Durchlässigkeit der Moorböden. *Z.f. Kulturtechnik* 4: 226-254.
7. Baden, W.; Grosse-Brauckmann, G. 1964. Einige für Wasserwirt und Landwirt wichtige moorkundliche Begriffe. *Wasser u. Boden*, 16: 155-159.
8. Bartels, R. 1977. Die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden. *Geol. Jb. F4*: 141-174.
9. Bartels, R.; Hagemann, P.C. 1977. Tiefpflugverfahren für flachgründige Niedermoore. *Mitteilng. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 25: 709-714.
10. Bascomb, C.L.; Banfield, C.J.; Burton, R.G.O. 1977. Characterisation of peaty materials from organic soils (Histosols) in England and Wales. *Geoderma*, 19: 131-147.
11. Boelter, D.H. 1969. Physical properties of peats as related to degree of decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 606-609.
12. Bouma, J. 1983. Estimating moisture-related land qualities for land evaluation. In: Miller, F.P. (Editor), *Land use planning techniques and policies*. Am. Soc. Agron. Spec. Publ., No. 12, pp 61-77.
13. Burghardt, W. 1976. Einflüsse von Moorbodeneigenschaften auf die kapillare Wassernachlieferung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 3: 343-355.
14. Burghardt, W.; Ilnicki, P. 1978. Sackung in wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes. (4. Bericht). *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 19: 146-157.
15. Burghardt, W.; Kuntze, H. 1984. Veränderung von Moorbodeneigenschaften durch Entwässerung. *Mitteilng. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.*, 40: 55-60.
16. Chen, Y.; Avnimelech, Y. 1986. *The role of organic matter in modern agriculture*. Martin Nijhofs publisher; Dodrech/Boston/Lancaster.
17. DIN 19 683, 1973. Deutsche Normen 19 683, Blatt 14 und 19: Physikalische Laboruntersuchungen. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 30 und Köln.
18. Dinel, H.; Lévesque, M. 1976. Un technique simple pour l'analyse granulometrique de le tourbe en milieu aqueux. *Can. J. Soil Sci.* 56:119-120.
19. Domergue-Greter, F.L. 1981. *Les Tourbes: Matière organique, minéralisation et classification*. EPF-Lausanne, laboratoire de pedologie; PED 8.
20. Dubois, J.P.; Jelmini, G.; Dubois, D. 1982. Influence du drainage et du type de culture sur l'exportation des elements nutritifs majeurs (N,P,K) dans une Tourbe eutrophe. Symposium BGS "Les soils organiques menaces de Suisse' Basel"; Neyroud, J.A. Editor.
21. DVWK, 1980. Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte. Teil 1: Grundansprache der Böden. DVKW Merkblätter zur Wasserwirtschaft und Kulturbau. Nr. 115.

22. DVWK, 1982. Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte. Teil 2: Ermittlung von Standortkennwerten mit Hilfe der Grundansprache der Böden. DVKW Merkblätter zur Wasserwirtschaft und Kulturbau.Nr. 116.
23. DVWK, 1986. Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte. Teil 3: Anwendung der Kennwerte für die Melioration. DVKW Merkblätter zur Wasserwirtschaft und Kulturbau.Nr. 117.
24. Eggelsmann, R. 1981. Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau. Verlag Paul Parey: Hamburg und Berlin, 288 Seiten.
25. Eggelsmann, R. 1978. Oxidativer Torfverzehr in Niedermoor in Abhängigkeit vom Klima und mögliche Schutzmassnahmen. Telma 8: 75-81.
26. Eggelsmann, R. 1973. Zur Hydrologie der "Deutschen Sandmischkulturen" (Tiefpflugkulturen). Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 14: 168-177.
27. Eggelsmann, R. 1970. Durchlässigkeit als bodenkundlicher Grenzwert der Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 11: 18-27.
28. Eggelsmann, R. 1970. Zur Durchlässigkeit der Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 22: 215-221.
29. Eggelsmann, R.; Bartels, R. 1975. Oxidativer Torfverzehr im Niedermoor in Abhängigkeit von Entwässerung, Nutzung und Düngung. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 22: 215-221.
30. Ehlers, M.; Wohlrab, B. 1979. Auswirkungen des Grundwasserentzuges auf die landwirtschaftliche Nutzung von Niedermooren und mögliche Kultivierungsmassnahmen im Rheinischen Braunkohlengebiet. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 20: 193-207.
31. Everett, K.R. 1983. Histosols. In: Pedogenesis and soil Taxonomy: II. The soil orders. Editors: Wilding, L.P.; Smeck, N.E. and Hall, G.F. - Elsevier.
32. Farrish, K.W.; Grigal, D.F. 1988. Decomposition in an ombrotrophic bog and a minerotrophic fen in Minnesota. Soil Science, 145: 353-358.
33. Frei, E.; Peyer, K.; Jäggli, F. 1972. Verbesserungsmöglichkeiten der Moorböden des Berner Seelandes. Mitteilng. Schweiz. Landwirtschaft 20: 197-210
34. Gebhardt, E.; Illner, K. 1976. Über die Porosität von Niedermoortorfen. Arch.Acker- u.Pflanzenbau u.Bodenkd. 20:4, 259-264.
35. Gobat, J.-M.; Portal, J.-M. 1985. Caractérisation de cinq tourbes obligotrophes représentatives d' une dynamique de la végétation dans le Jura Suisse. Science du sol, 2 ; 59-74.
36. Gordiychuk, A.S. 1978. Effect of agricultural use and wetting on the attrition of deep peat bogs in the Ukrainian Poles'ye. Soviet Soil Sci. 10:725.
37. Göttlich, K.H. 1990. Moor und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 3. Auflage: 529 Seiten.
38. Gysi, Ch.; Ryser, J.-P.; Lüthi, J. 1985. Auswertung von Nitratuntersuchungen an Kopfsalat im schweizerischen Gemüsebau. Schweiz. Landw. Fo. 24 (3/4): 203-214.
39. Haefeli, R.; Schaad, W. 1944. Setzungen infolge Senkung, Schwankung und Strömung des Grundwassers. Schweiz. Bauzeitung 123: H. 23+24+25.
40. Hayes, M.H.B.; Mortensen, J.L. 1963. Role of biological oxidation and organic matter solubilization in the subsidence of Rifle peat. Soil Sci. Soc. Proc., 27: 666-668.
41. Hirschi, M. 1987. Untersuchung der Oberböden verschiedener Bodentypen mit einfachen Mitteln. Semesterarbeit: ETH-Zürich, Labor für Bodenkunde (unveröffentlicht).
42. Illner, K. 1984. Zur Bodenentwicklung in Niedermooren. Arch.Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenknd. 28: 10, 585-590.
43. Illner, K.; Bohne, K. 1980. Über den Einfluss der Grundwasserregulierung auf die technologische Eignung von Niedermoorböden. Arch.Acker-u.Pfalnzenbau u.Bodenkd. 24: 2, 77-84.

44. Illner, K.; Raasch, H. 1977. Der Einfluss von Torfeigenschaften auf die kapillare Leitfähigkeit in Niedermoorböden. Arch. Acker- u. Pflanzbau u. Bodenk. 21: 10, 753-758.
45. Ilnicki, P. 1984. Einwirkung der Moornutzung auf Physikalische Eigenschaften der oberen Bodenschichten. Inter. Symp. Proc., Recent investigation in the zone of aeration. Editors: Udluft, P.; Merkel, B.; Präsel, K.H. .
46. Ilnicki, P. 1982. Einfluss physikalischer Eigenschaften und antropogener Tätigkeit auf die Hysterese der Wasserspannungskurve organogener Böden. Z.Pflanzenernähr.Bodenk. 145: 375-383.
47. Ilnicki, P. 1977. Sackung in wiederholt entwässerten Hochmooren des Nordwestdeutschen Flachlandes (1. Bericht). Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 18: 23-34.
48. Ilnicki, P. 1977. Sackung in wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes (3. Bericht).Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 18: 153-165.
49. Ilnicki, P.; Burghardt, W. 1981. Sackung in wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes (6. Bericht). Z. f. Kulturtechnik. u. Flurbereinigung, 22: 112-121.
50. Irwin, R.W. 1977. Subsidence of cultivated organic soil in Ontario. J. of the Irrigation and Drainage Division 103: IR2, 197-205.
51. Jelmini, G.; Dubois, J.P.; Dubois, D. 1983. Etude comparative de la perte en éléments nutritifs sous prairie et sous culture maraîchère: cas des tourbes eutrophes. Recherche agronom.en Suisse 22: 3/4, 144-155.
52. Jäggli, F.; Juhasz, P. 1982. Verlauf und Grösse der Moorsackung im Berner Seeland. Schweiz. Landw. Fo. 21: 3/4, 281-291.
53. Jäggli, F.; Peyer, K. 1982. Beurteilung der potentiellen Eignung und Ertragsfähigkeit landw. genutzter Torfmoorböden im Berner Seeland. Symp. BGS Basel, "Gefährdete organische Böden der Schweiz". Editor: Neyroud, J.A..
54. Kuntze, H. 1984. Bewirtschaftung und Düngung von Moorböden. Bodentechnologisches Institut Bremen.
55. Kuntze, H. 1983. Probleme bei der modernen landwirtschaftlichen Moornutzung. Telma 13: 137-152.
56. Kuntze, H. 1982. Die Anthropogenese nordwestdeutscher Grünlandböden. Abh. Naturw. Verein Bremen 39: 379-395.
57. Kuntze, H. 1977. Von der Kultur- zur Oekotechnik - dargestellt am Beispiel einer 100jährigen Forschungsstätte angewandter Bodenkunde. Z.f. Kulturtechnik u. Flurberein. 18: 93-199.
58. Kuntze, H. 1969. Die Beurteilung von Grünlandstandorten in Marsch- und Moorlandschaften. Kali-Briefe Fachgebiet 4, 5.Folge: 1-7.
59. Kuntze, H. 1966. Die Messung des geschlossenen und offenen Kappillarsaumes in natürlich gelagerten Böden. Z.f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenknd. 113: 2, 97-106.
60. Kuntze, H. 1965. Physikalische Untersuchungsmethoden für Moor- und Anmoorboden. Landw. Forsch. 18:175-190.
61. Kuntze, H.; Burghardt, W. 1984. Untersuchungen zum Schutz von Moorböden vor Austrocknung. Mitteilgn.Dtsch.Bodenkndl.Gesellsch. 40: 91-96.
62. Käser, H.P. 1982. Landwirtschaftliche Nutzung der Moorböden. Symp. BGS. Basel "Gefährdete organische Böden der Schweiz". Editor: Neyroud, J.A.
63. Ledermann, B. 1983. Der Einfluss von Schichtung und Nutzung auf die Struktur der Böden im Freiburger Seeland. Diplomarbeit ETH-Zürich (unveröffentlicht).
64. Lévesque, M.P.; Diné, H. 1982. Some morphological and chemical aspects of peats applied to the characterization of histosols. Soil Science, 133: 324-332.
65. Lévesque, M.P.; Mathur, S.P. 1984. The effect of using copper for mitigating histosols subsidence on: 3. the yield and nutrition of minicarrots, carrots, and onions grown in histosols, mineral sublayers, and their mixtures. Soil Science, 138: 127-137.

66. Lévesque, M.P.; Mathur, S.P. 1979. A comparison of various means of measuring the degree of decomposition of virgin peat materials in the context of their relative biodegradability. *Can. J. Soil. Sci.* 59: 397-400
67. Lévesque, M.; Morita, H., Diné, H.; Schnitzer, M; Mathur, S. 1980. The physical, chemical, and morphological features of some Ontario peats. Land Resource Research Institut, Canada. Contribution No. LRRI 62.
68. Lévesque, M.; Polo, A. 1981. Morphological, botanical and chemical aspects of peats from Baupé Bog, France, as affected by drainage. *Proc. int. peat symp., Bemidji, Minnesota (USA), Oct., 1981.*
69. Lishvan, I.I. et al. 1984. Change in the hydrophysical properties of peat-bog soils after application of hydrolyzed polyacrylonitrile. *Soviet Soil Sci.* 5: 116-121.
70. Lorenz, W.D.; Rohde, S. 1987. Reliefdifferenzierung auf landwirtschaftlich genutzten flachgründigen Niedermooren. *Int. Symp. IMTG Eberswalde, DDR; Bodenentwicklung auf Niedermoor und Konsequenzen für die landwirtschaftliche Nutzung.*
71. MacLean, A.J.; Halstead, R.L.; Mack, A.R.; Jasmin, J.J. 1963. Comparison of procedures for estimating exchange properties and availability of phosphorus and potassium in some eastern canadian organic soils. *Can. J. Soil Sci.* 44: 66-75.
72. Maire, N. 1985. Influence du niveau de la nappe d'eau dans une tourbe eutrophe cultivée en prairie, sur cinq paramètres biologiques. *Schweiz. Landw. Fo.* 24: 1/2, 79-93.
73. Maire, N. 1983. Etude du repeuplement d'une tourbe stérilisée, par quatre méthodes biologiques globales (ATP, dégagement de CO₂, phosphatase et uréase). *Schweiz. Landw. Fo.* 22: 3/4, 221-245.
74. Marachi, N.D.; Dayton, D.J.; Dare, C.T. 1983. Geotechnical properties of peat in San Joaquin Delta. *Testing of peats and organic soils, ASTM STP 820*, pp. 207-217 Editor: Jarret, P.M.
75. Mathur, S.P. 1983. A lack of bactericidal effect of subsidence-mitigating copper in organic soils. *Can. Jour. Soil Sci.*, 1983, 63, 3, 645-649.
76. Mathur, S.P. 1981. The inhibitory role of copper in the enzymic degradation of organic soils. *Proceedings of the international peat symposium, Bemidji, USA; edited by Fuchsmann, C H.: 191-219.*
77. Millette, J.A.; Broughton, R.S. 1984. The effect of water table depth in organic soil on subsidence and swelling. *Can. J. Soil Sci.* 64: 273-282.
78. Mirza, C.; Irwin, R. W. 1964. Determination of subsidence of an organic soil in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci. Vol. 44: 248-253.*
79. Mundel, G. 1976. Untersuchungen zur Torfmineralisation in Niedermooren. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenknd.* 20: 10, 69-679.
80. Neller, J.R. 1944. Oxidation loss of lowmoor peat in fields with different water tables. *Soil Science*, 58: 195-204
81. Okruszko, H.; Szuniewicz, J.; Szymanowski, M. 1987. Differentiation of physiko-hydrological properties of soils developed from fen-peat under the effect of their different utilisation. *Int. Symp. IMTG, Eberswalde, DDR; Bodenentwicklung auf Niedermoor und Konsequenzen für die landwirtschaftliche Nutzung.*
82. Okruszko, H. 1982. Review of chapter 5. *Proceed. of the symp. on peatlands below sea level. ILRI publ. Nr. 30, Editors: de Baker, H; van der Berg, M.W.*
83. Peyer, K., Juhasz, P. 1977. Eigenschaften und landbauliche Nutzungsmöglichkeiten von Seekreideböden des schweizerischen Mittellandes. *Mit. d. bodenkndl. Gesell. der Schweiz, Bulletin 1.*
84. Peyer, K; Presler, J. 1987. Zur landwirtschaftlicher Nutzung meliorierter Niedermoorböden im schweizer Mittelland. *Int. Symp. IMTG, Eberswalde, DDR; Bodenentwicklung auf Niedermoor und Konsequenzen für die landwirtschaftliche Nutzung.*

85. Presler, J.; Gysi, Ch. 1989. Organische Böden des schweizerischen Mittellandes. Bericht 28 des Nationalen Forschungsprogrammes "Boden"; Liebefeld-Bern ISBN 3-907086-20-1.
86. Presler, J.; Sticher, H. 1987. Die Veränderung des Mikroreliefs und des Bodeninventars als Folge der durch Moorsackung und Torfverzehr verursachten Höhenverluste in einem meliorierten Niedermoorgebiet. Mitteilung. Dtsch. Bodenkndl. Gesellsch., 53: 225-230.
87. Prus-Chacinski, T.M. 1962. Shrinkage of peatlands due to drainage operations. Institution of Water Engineers Journal 16: 436-448.
88. Puffe, D. 1965. Gefügeuntersuchungen an Torfen. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 6: 301-352.
89. Puffe, D.; Grosse-Brauckmann, G. 1963. Mikromorphologische Untersuchungen an Torfen (Zur Frage der Zersetzung oberflächennaher Hochmoortorfe unter Grünland). Z. F. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 4: 159-188.
90. Reddy, K.R. 1982. Mineralisation of nitrogen in organic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 561-566.
91. Rul, R.R.; Kliman, M.A. 1986. Changes in the structure of the soil cover on peat Bogs in the Amur region caused by drainage. Soviet Soil Sci. 18: 3, 14-19.
92. Scharpenseel, H.W.; Wurzer, M.; Freytag, J.; Neue, H.U. 1984. Biotisch und abiotisch gesteuerter Abbau von organischer Substanz im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 147: 502-516.
93. Scheffer, B.; Bartels, R. 1974. Die N-Dynamik eines Niedermoorbodens und seine Beeinflussung. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 20: 425-434.
94. Schnitzer, M.; Desjardins, J.G. 1965. Carboxyl and phenolic hydroxyl groups in some organic soils and their relation to the degree of humification. Can. J. Soil Sci. 45: 257-264.
95. Schnitzer, M.; Lévesque, M.P. 1979. Elektron spin resonanceas a guide to the degree of humifikation in peats. Soil sci. 127: 140-145.
96. Schothorst, C.J. 1982. Drainage behaviour of peat soils. Proceed. of the Symposium on peat lands below sea level. Editors: de Bakker, H.; Berg van den, M.W. ILRI - Holland.
97. Schothorst, C.J. 1977. Subsidence of low moor peat soils in the Western Netherlands. Geoderma 17: 4, 265-291.
98. Schuch, M. 1993. Die Entstehung der süddeutschen Moore. NaturschutzreportLandesbund für Vogel in Bayern, Verand für Arten und Biotopschutz. 2. Ausgabe.
99. Schuch, M. 1992. Die Moore im Wandel der Zeit. Schriftenreihe des bayrischen Forstvereins Heft 12: 132-138.
100. Schuch, M. 1991. Moorforschung und Moornutzung sowie landwirtschaftliche Niedermoornutzung und ihre Bedeutung für den Naturschutz in Bayern. Telma Band 21: 119-126.
101. Schuch, M. 1988. Moorkultivierung in früherer Zeit - Auswirkungen der Gesetzgebung in Bayern - Derzeitiger Zustand der Moore. TELMA Band 18: 397-404.
102. Schuch, M. 1987. Bodenentwicklung auf Niedermoor und Konsequenzen für die landwirtschaftliche Nutzung. Akadmeie der Landwirtschaften der deutschen demokratischen Republik, Nationalkomitee der DDR in der Internationalen Moor- und Torfgesellschaft. Band I.
103. Schuch, M. 1978. Die Kartierung des Donaumooses und sich daraus ergebende Folgerungen. Telma 8: 245-249.
104. Schuch, M. 1977. Das Donaumoos und einige seiner gegenwärtigen Hauptprobleme. Telma 7: 167- 173.
105. Segeberg, H. 1962. Vorausberechnung der auf Moorkulturen durch den Schwund von Torfsubstanz zu erwartenden Höheverluste. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 3: 356-367.

106. Segeberg, H. 1960. Moorsackungen durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 1: 144-161.
107. Segeberg, H. 1951. Der gegenwärtige Stand des Problems der Moorsackung. Wasser u. Boden, 1/2: 28-33.
108. Shih, S. F.; Mishoe, J. W.; Jones, J. W.; Myhre, D. L. 1978. Modeling the subsidence of Everglades organic soil. ASAE-Transactions 21: 1151-1156.
109. Shoham, D.; Levin, I. 1968. Subsidence in the reclaimed Hula Swamp area of Israel. Israel J. agric. Res. 18.
110. Stephens, J.C. 1956. Subsidence of organic soils in the Florida Everglades. Soil Sci. Soc. Proc., 20: 77-80.
111. Tate, R.L. 1980. Effects of several environmental Parameters on carbon metabolism in Histosols. Microb. Ecol. 5: 329-336.
112. Terry, R.E. 1980. Nitrogen mineralisation in Florida Histosols. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 747-750.
113. Toth, A. 1983. Die Nutzung und der Schutz der ungarischen Moore. Telma 13: 153-160.
114. Tschachtli, R. 1986. Verbesserung eines Bodens im Freiburger Seeland mittels Tiefpflug-Sanddeckkultur. Semesterarbeit: ETH-Zürich, Labor für Bodenkunde (unveröffentlicht).
115. Valk, M. 1982. Management of muck crops. Proc. Symposium on Peat and Peatlands, Shippagan Canada: 386-390.
116. van der Molen, W.H. 1975. Subsidence of peat soils after drainage. Agricultural University, Wageningen, Netherlands. IAHS Publication, No. 105, 183-186.
117. Waksman, S.A.; Stevens, K.R. 1929. Contribution to the chemical composition of peat: V. The role of the microorganisms in peat formation and decomposition. Soil Science, 28: 315-340.
118. Wardwell, R.E.; Charlie, W.A.; Doxtader, K.A. 1983. Test method for determining the potential for decomposition in organic soil. in: Testing of peats and organic soils, ASTM STP 820 Editor: Jarret, P.M.
119. Wind, G.P.; Pot, R.A. 1976. Bodenverbesserung in den holländischen Veenkolonien. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 17: 193-206
120. Yevdokimova, N. V. 1976. Subsidence and biochemical destruction of peat in the Ukrainian polesiye. Soviet Soil Science 8: 345-347.

Anhang	Seite
Anhang 4.1-1: Grundlagen zur landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden	1
Anhang 4.3-1: Grundlagen für Ausgleichszahlungen durch Bund und Kanton	5
Anhang 5.1-1: Grundlagen für die Standortwahl	7
Anhang 5.1-2: Bodenart und Humusgehalte, Schätzwerte und Analysenresultate	8
Anhang 6.1-1: Die fünf Standorte (Fotos)	10
Anhang 6.2-1: Standort Bonstetten: Flächendarstellungen und Tiefenprofile	13
Anhang 6.2-2: Standort Gossau: Flächendarstellungen und Tiefenprofile	15
Anhang 6.2-3: Standort Oberglatt: Flächendarstellungen und Tiefenprofile	17
Anhang 6.2-4: Standort Rifferswil: Flächendarstellungen und Tiefenprofile	19

Anhang 4.1-1: Grundlagen zur landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden

Prozesse der Moorsackung

Die vor allem auf veränderte hydrologische Verhältnisse (Entwässerungsmassnahmen zurückzuführende Sackung der Mooroberfläche ist das Ergebnis einer Abfolge verschiedener bodenphysikalischer und -chemischer Mechanismen und Reaktionen. Prozesse, welche die Moorsackung verursachen sind: Setzung, Schrumpfung, Torfverzehr und Erosion. Weitere Verluste entstehen durch die Auswaschung wasserlöslicher organischer Anteile.

Setzung: Physikalischer Vorgang, bei welchem Moore entweder infolge von Entwässerungen oder durch mechanische Belastung zusammengedrückt werden. Das Ausmass der zu erwartenden Setzung wird im wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt: Ausmass der Grundwasserabsenkung, Torfart und Mächtigkeiten und die durch Kulturmassnahmen gesteigerte Zunahme des Vertorfungsgrades sowie durch mechanische Belastungen. **Auffüllungen verstärken diesen Prozess. Durch Auflast können Torfschichten je nach Zustand um max. ca. 30-40% kontrahiert werden.**

Schrumpfung: Die Schrumpfung ist wie die Setzung ein rein bodenphysikalischer Vorgang. Während die Setzung unmittelbar der Grundwasserabsenkung folgt, ist die Schrumpfung auf stark ansteigende Saugspannungen in der Wurzelzone und der daraus resultierenden Kontraktion des Torfes zurückzuführen. Die Schrumpfung ist in der obersten Torfschicht (Bearbeitungsschicht) am stärksten und wird um so kleiner, je stärker der betreffende Torf bei früherem Trocknen bereits geschrumpft ist.

Torfverzehr (Mineralisation des Torfes): Mikrobieller aerober Abbau des Torfes nach der Entwässerung. Die auf die Mineralisation der organischen Substanz zurückzuführende negative Stoffbilanz wird oft als Torfverzehr bezeichnet.

Deflation (Winderosion): Die besondere Deflationsanfälligkeit von Moorböden wird auf die periodische Austrocknung und Wiederbefeuchtung der Mooroberfläche zurückgeführt. Schrumpfung und Bodenbearbeitung begünstigen die Deflation der ackerbaulich genutzten Moorböden.

Ausmass der Moorsackung sowie die Moorsackung beeinflussende Faktoren

In Darstellung 4.1-1.1 sind Moorsackungsraten aus langjährigen Messungen in verschiedenen Ländern und Klimaregionen zusammengestellt. Demnach liegen die jährlichen Sackungsraten zwischen 6 mm in eher kalten und feuchten Gebieten und 100 mm pro Jahr in warmen Regionen. In der Schweiz wurden Werte zwischen 10 und 30 mm beobachtet. Die Sackungsraten sind in den ersten Jahren nach einer Entwässerung besonders gross, nehmen dann allmählich ab und stabilisieren sich auf einem beinahe konstanten Wert. Dieser Vorgang der Sackung wiederholt sich nach jeder neuen Entwässerung, wenn auch nicht mit gleicher Intensität (Darst. 4.1-1.2). Es entsteht ein Zyklus von Entwässerung, Sackung, Torfchwund, Schrumpfung und Höhenverluste. Mit jeder neuen Entwässerung wird dieser Regelkreis für gewöhnlich enger

Autor	Land	Dauer [Jahre]	Sackungsrate [mm/Jahr]
Schothorst, 1977	Niederlande	88	6
Schuh, 1978	BRD	77	10
Irwin, 1977	Ontario	30	10
Müller, 1960	Schweiz	80	13 - 14
Iregrest, 1963	England	100	15
Okruszko, 1987	Polen	25	12 - 18
Armstrong, 1974	Australien	32	16
Peter, 1922	Schweiz	40	10 - 25
Jäggli, 1982	Schweiz	7	12 - 30
Parent, 1982	Quebec	38	21
Stephens, 1956	Florida	50	35
Marachi, 1983	Kalifornien	langjährig	60 - 80
Shoham, 1968	Israel	9	100

Darst. 4.1-1.1: Sackung der Mooroberfläche infolge von Entwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung (langjährige Messungen verschiedener Autoren; eingeordnet nach Sackungsrate)

Die gesamte Senkung der Mooroberfläche ergibt sich aus der Summe der Sackungen der einzelnen Torfschichten. Da diese in ihrem Aufbau variieren und mit zunehmender Tiefe dem Einfluss der sekundären Faktoren, wie Grundwasserschwankungen, Austrocknung oder Nutzung ungleich ausgesetzt sind, ist auch die Sackung je nach Schicht verschieden. Unter den klimatischen Bedingungen des schweizerischen Seelandes haben Jäggli und Juhasz (1982) während eines sieben Jahre dauernden Versuches die Schicht-sackungen ermittelt. Die Autoren haben die folgenden Schlussfolgerungen gezogen: a.) Die Intensität der Moorsackung ist von der Torfmächtigkeit abhängig; b.) in Moorböden mit Moormächtigkeiten grösser als 0.9 m ist der wesentliche Anteil der Moorsackung den tieferen Torfschichten zuzuordnen; c.) jährliche Sackungsraten variieren besonders stark bei den tieftorfigen Moorböden (Torfmächtigkeit über 0.9 m); für die obersten 0.2 m sind Sackungsraten von 5 mm pro Jahr standortunabhängig.

Darst. 4.1-1.2: Sackungsphasen organischer Böden bei wiederholter Entwässerung.

Die Abhängigkeit der Moorsackung von klimatischen und hydrologischen Verhältnissen sowie von der Moormächtigkeit und der Nutzungsart als wesentliche beeinflussende Faktoren ist schematisch aus Darstellung 4.1-1 (Kap. 4.1 im Bericht) ersichtlich. Bezüglich der Nutzungsart ist mit zunehmender Intensivierung grundsätzlich von einer Zunahme der Moorsackung auszugehen. Dabei beeinflusst die Nutzungsart die Moorsackung hauptsächlich sekundär über die für das Gelingen der angebauten Kultur unentbehrlichen agro- und kulturtechnischen Massnahmen. Die je nach Kulturart spezifischen Grundwasserstände, Deckungsgrade der Bodenoberfläche, Belastungen durch Maschinen, Bodenbearbeitung und die Intensität der Düngung verursachen für die Moorsackung verschiedene Bedingungen.

Veränderungen bodenphysikalischer und -chemischer Eigenschaften infolge der Moorsackung

Die Prozesse der Moorsackung bewirken eine ständige Veränderung der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften. Eine zusammenfassende Darstellung dieser Zusammenhänge ist aus Darstellung 4.1-2 (Kap. 4.1 im Bericht) ersichtlich.

Die Setzung des Torfes bewirkt eine Volumenverminderung des Torfes. Die daraus folgende Verdichtung hat eine Umstrukturierung der Pflanzenreste und Umverteilung der Porengrössenanteile zur Folge. Die Lagerungsdichte und die Feldkapazität nehmen zu, die Luftkapazität dagegen ab. Aerobe Torflagen sind dem Torfverzehr ausgesetzt. Dieser Abbau bewirkt eine weitere Verdichtung der Torfsubstanz, eine Umverteilung der Porengrösseanteile und eine Verminderung des Porenvolumens. Periodische Austrocknung und Wiederbefeuchtung der obersten Torfschichten führt zu weiteren Strukturveränderungen. Die kapillare Wasserleitfähigkeit nimmt ab und die oberen Lagen neigen zur Austrocknung - die nutzbare Wasserkapazität wird stark eingeschränkt.

Während dieses sog. Morschprozesses verändern sich auch die chemischen Eigenschaften des Torfes grundlegend. Schwer abbaubare Komponenten des Torfes werden relativ angereichert: Freie Radikale, N-Gehalt, Asche und organisch gebundener Phosphor nehmen zu, das C/N-Verhältnis nimmt ab. Der Torfverzehr verursacht zuerst einen Anstieg der Kationenaustauschkapazität. Mit zunehmender Mineralisierung nimmt der Gehalt an mineralischen Komponenten zu, die Kationenaustauschstellen werden abgebaut und die Kationenaustauschkapazität nimmt wieder ab.

Moorsackung und landwirtschaftliche Nutzungseignung

Die mit der Alterung von kultivierten, d.h. entwässerten und bearbeiteten Moorböden einhergehende Verschlechterung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung ist allgemein bekannt und wird wie folgt zusammengefasst: Die anfangs noch gut durchlässigen Böden werden zunehmend stau- und schliesslich haftnass. Die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen verschlechtern sich und die technologische Eignung (Befahrbarkeit, Relieferung) wird beeinträchtigt. Der Nährstoffhaushalt wird durch den unkontrollierbaren N-Nachschub geprägt. Ein resultierendes Stickstoff Überangebot beeinträchtigt die Tragfähigkeit der Grünlandnarbe und kann die Quantität und Qualität der Produkte vermindern. Die Zeitspanne zwischen den wiederkehrenden Meliorationsmassnahmen und den sich andauernd verschlechternden Nutzungsbedingungen wird kürzer. Die Erträge und vor allem die Ertragssicherheit werden bei steigenden Meliorationskosten geringer. Nach dem vollständigen Abbau des Torfes bestimmen der verbleibende mineralische Untergrund und die hydrologischen Bedingungen die weitere Nutzung der neu entstandenen Böden. In windexponierten Lagen erschwert die Deflation zusätzlich die Bewirtschaftung.

Notwendigkeiten für Meliorationen landwirtschaftlich genutzter organischer Böden ergeben sich in erster Linie aufgrund eines **unbefriedigenden Wasser- und Lufthaushalts**, aufgrund **ungünstiger Eigenschaften des mineralischen Untergrundes** stark degradierter organischer Böden sowie aufgrund **ungünstiger Reliefeigenschaften** durch Moorsackung.

Anhang 4.3-1: Grundlagen für Ausgleichszahlungen durch Bund und Kanton

Es werden sowohl vom Bund als auch vom Kanton Beiträge für ökologische Ausgleichsflächen ausbezahlt. Im Kanton Zürich sind in der Regel die Beiträge des Kantons höher. Die Beiträge von Bund und Kanton sind nicht kumulierbar.

Beiträge vom Bund nach Artikel 31b LWG

Rechtlich Grundlagen:

- Öko-Beitragsverordnung
- landwirtschaftliche Betriebsverordnung
- Waldverordnung
- Stoffverordnung
- Weisung über die Mindestanforderung für die Anerkennung von Regeln in der integrierten Produktion (IP) in Ackerbau, Futterbau und Tierhaltung
- Weisung über die Mindestanforderung für die Anerkennung von Regeln des biologischen Landbaus (Biol.) in Ackerbau, Futterbau und Tierhaltung

Allgemeine Vorgaben:

- Ökologische Ausgleichsflächen müssen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegen.
- Ökologische Ausgleichsflächen, die in der IP/Biol. angerechnet werden, müssen auf der Betriebsfläche liegen.
- Alle in der Folge aufgeführten ökologische Ausgleichsflächen sind für IP/Biol. anrechenbar.
- Biotop von nationaler und regionaler Bedeutung sind beitragsberechtigt. Sie sind auch anrechenbar für die ökologische Ausgleichsflächen von IP/Biol.
- Die Masse der ökologischen Ausgleichsflächen wird, falls nicht vermessen, durch effektive Längenbestimmung vermessen.
- Parzelle wird in der Folge als Bewirtschaftungseinheit und nicht als Grundbuchparzelle verstanden.
- Mehrere kleine ökologische Ausgleichsflächen können auf derselben Parzelle summiert werden.

Beiträge und Anforderungen durch den Bund für ökologische Ausgleichsflächen

Ökologische Ausgleichsfläche	Bedingung für IP/Biol.	Zusätzliche Bedingungen für das Erhalten von Beiträgen und Höhe der Beiträge für konventionelle Betriebe
Wenig intensiv genutzte Wiese Dauerwiese oder auf stillgelegtem Ackerland angelegte Fromental- oder Goldhaferwiese	- Stickstoffdüngung hofeigener Mist - Grundsätzliche Schnittnutzung 1x jährlich - Frühester Termin des 1. Schnittes festgelegt - Pflanzenbehandlungsmittel: höchstens Einzelstockbehandlung - Dauer: Anrechenbar für IP/Biol., wenn mindestens drei Jahre ohne Unterbruch am gleichen Standort	- Dauer: Erst nach 6 Jahren beitragsberechtigt. - Mindestfläche pro Parzelle: 5 Aren - 50% der Bewirtschaftung durch eigene Arbeitskräfte ausgeführt - Zwischen 300 und 650 sFr. je nach Lage und vorheriger Nutzung pro Jahr und Hektare.
Streueflächen Vegetation auf Feucht- und Nassstandorten mit traditioneller Streunutzung	- keine Düngung - Grundsätzliche Schnittnutzung 1x jährlich - Frühester Termin des 1. Schnittes festgelegt - Schnittgut als Streu verwendbar; nur ausnahmsweise als Futtermittel - Pflanzenbehandlungsmittel: höchstens Einzelstockbehandlung - Dauer: Anrechenbar für IP/Biol., wenn mindestens drei Jahre ohne Unterbruch am gleichen Standort	- Dauer: nach Anmeldung mind. 6 Jahre nach den entsprechenden Vorlagen bewirtschaftet. - Mindestfläche pro Parzelle: 5 Aren - Zwischen 450 und 1000 sFr. je nach Lage und vorheriger Nutzung pro Jahr und Hektare.
Ackerschonstreifen Mit Ackerkultur angesät oder angepflanzter Randstreifen, extensiv genutzt	- Normale Saat oder Pflanzung der Ackerfrucht - Pflanzenbehandlungsmittel: höchstens Einzelstockbehandlung - Mechanische Unkrautbekämpfung erlaubt - Nur in Bewirtschaftungsrichtung längs Feldrand	keine Beiträge

Hecken und Feldgehölze	Keine Düngung von Hecke/Feldgehölze - Pflanzenbehandlungsmittel: höchstens Einzelstockbehandlung - Hecke/Feldgehölze ohne Krautsaum ist für IP/Biol. anrechenbar - Hecke/Feldgehölze darf vom Kanton nicht als Wald ausgedehnt sein	- Krautsaum: beidseitig der Hecke mind. 3 m - Dauer: nach Anmeldung mind. 6 Jahre nach den entsprechenden Vorlagen bewirtschaftet. - Mind. Grösse der Parzelle: 5 Aren - Beiträge: 450 - 1000 sFr. pro ha und Jahr.
Wassergraben, Tümpel, Teich	- keine Düngung, keine landwirtschaftliche Nutzung - keine Pflanzenbehandlungsmittel - Pufferstreifen entlang Hauptobjekt: 3 m breit - Pufferstreifen für IP/Biol. anrechenbar	-Breite /Länge des Hauptobjektes: umfasst Wasserfläche und mehrheitlich unter Wasser stehende Fläche - Fläche: Durchschnittliche Breite x Länge - keine Beiträge

Kantonale Naturschutzbeiträge des Kantons Zürich

Allgemeine Bestimmungen:

-Der Kanton bezahlt die Differenz zwischen Bund und Kantonsbeiträgen. Es wird den Bauern also empfohlen sich zuerst an den Bund zu wenden und dann die Differenz zwischen Kanton und Bund vom Kanton zu beziehen.

-Keine Überlagerung mit Beiträgen für wenig genutztes Wiesland.

Zone	Bestimmungen	Beitragshöhe
Zone I eigentliche Naturschutzflächen	-keine Düngung -keine Beweidung -vorgeschriebener Schnittzeitpunkt	1900-2900 sFr. pro Jahr und ha
Zone IR zu regenerierende Flächen	-keine Düngung -keine Beweidung -vorgeschriebener Schnittzeitpunkt	1900-4500 sFr. pro Jahr und ha
Zone IIA Umgebungsschutzzone Pufferzone	-keine Düngung -keine Beweidung -vorgeschriebener Schnittzeitpunkt	1200-3200 sFr. pro Jahr und ha
Zone IIB Umgebungsschutzzone Pufferzone	-kein Flüssigdünger -keine Düngung ausserhalb Vegetationszeit ausgenommen Mist -nur Nutzung als Weide, Streu- oder Dauerwiese	0-1200 sFr. pro Jahr und ha
Hecken Verträge	-Abschluss eines Vertrages -bestockte Fläche min. 2 m Breit -beidseitiger 2-4 m breiter Krautsaum -Krautsaum keine Düngung, Beweidung	2000-5500 sFr. pro Jahr und ha

Anhang 5.1-1: Grundlagen für die Standortwahl

Gemeinde	1 Standortkundliche Gliederung des Kantons Zürich			2 Flachmoorinventar	3 Bodeneignungskarte Einheit	4 Untersuchungsstandorte
	Stufe Geo-Einheit	Stufe Skelettgehalt	Stufe Vernässung			
Affoltern a.A.	4	1	4	x	H4	
Bäretswil	4	1	4	x	H4	
Benken					G1	Standort 1
Birmensdorf	4	1	4			
Bonstetten	4	1	4		H4	Standort 2
Boppelsen	4	1	4	x	H4	
Bubikon				x	G1	Naturschutzgebiete
Gossau				x	G1	Standort 3
Grünigen				x	G1	
Hausen a.A.	4	1	4	x	H4	
Hedingen	4	1	4		H4	
Hittnau	4	1	4	x	H4	
Kappel a.A.	4	1	4	x	H4	
Maschwanden					G1	
Mönchaltorf					G1	
Nerrach				x	G1	
Oberglatt				x	G1	Standort 4
Obfelden	4	1	4		H4	
Otelfingen	4	1	4		G1	
Riedikon					G1	
Rifferswil	4	1	4	x	H4	Standort 5
Rümlang				x	G1	
Schlatt	4	1	4			
Schönenberg				x	L2	Naturschutzgebiet; zu klein
Seegräben				x		Naturschutzgebiete
Stammheim					G1	
Wettswil a.A.	4	1	4	x	H4	
Wolfhausen					G1	Naturschutzgebiete

Legende:

¹Standortkundliche Gliederung des Kantons Zürich, AGW 1992:

Geo-Einheit Stufe 4: Seebodenlehme, Schwemmlerme, Gehängelehme
 Skelettgehalt, Stufe 1: skelettfrei
 Vernässung, Stufe 4: grundnass

²Liste der Flachmoore von nationaler Bedeutung, Kanton Zürich. Es wurden jeweils grössere Gebiete in Betracht gezogen.

³Bodeneignungskarte der Schweiz, 1:200'000:

G1 = Gleye, organische Nassböden, gleyige Braunerden
 H4 = gleyige Braunerden, Gleye, organische Nassböden, Fluvisole
 L2 = organische Nassböden, Gleye, gleyige Braunerden, Fluvisole

⁴Untersuchungsstandorte: Aufgrund der Vorerkundung erfüllten die Untersuchungsstandorte die Anforderungen an die Standortwahl. In den Gemeinden Gossau und Rifferswil wurden zusätzlich Alternativstandorte ausgewählt. Gemeinden, zu denen Bemerkungen angegeben sind, wurden ebenfalls erkundet, aber aus beschriebenen Gründen nicht weiter berücksichtigt.

Anhang 5.1-2: Bodenart und Humusgehalte: Schätzwerte und Analysenergebnisse**Körnung**

Probe	Tiefe [cm]	Analyse			Schätzung		
		Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Ton [%]	Schluff [%]	
Bo J5	28-70	32.2	46.1	21.7	0-10	>50	Schluff
Bo B9	71-100	18.7	50	31.3	0-10	>50	Schluff
Be B4	50-100	19.6	26.8	53.6	20-30	<50	Lehm
Be B7	53-100	11.6	25.1	63.6	5-10	<50	lehmgiger Sand
Ob G3	>33	39.9	54.9	5.2	>30	>50	toniger Schluff
Ob G2	>35	34.7	58.2	7.1	10-30	>50	lehmgiger Schluff
Ri B7	31-56	36	50	14	>30	>50	toniger Schluff

Organische Substanz

Probe	Tiefe [cm]	Analyse [%]	Schätzung [%]
Go D1	100	67.9	>50
Go E1	0-50	20.1	10-30
Go G2	0-34	29.6	30-50
Bo B9	0-35	23.7	10-30
Bo I1	0-85	15.3	10-30
Bo J5	0-27	36.8	10-30
Be E21	0-38	22.3	10-30
Be B4	0-50	16.9	30-50
Be E7	0-36	24.5	10-30
Be E22	52-100	62.2	>50
Ob G2	0-35	29.4	30-50
Ob H6	0-33	44.3	30-50
Ri B7	0-30	5.7	30-50
Ri H91	0-25	59.2	30-50
Ri H92	26-100	85.9	>50

Legende:

Schätzung unbefriedigend
Schätzung befriedigend
Schätzung gut

Anhang 5.2-1: Bewertung von Bodenarten

Bodenart		Bewertung	Quelle
Ton%	Kurzzeichen		
5 - 30	IS, IrS, sL, L, IU	Ackerkrume: Landwirtschaftsland 1. Priorität	BGS, AG Bodenschutz, 1985 ¹
5 - 40	IS, IrS, sL, L, tL, IU	Unterboden: Landwirtschaftsland 1. Priorität	"
< 40	S, IS, IrS, sL, L, tL, U, IU alle möglich	Ackerkrume: Landwirtschaftsland 2. Priorität Unterboden: Landwirtschaftsland 2. Priorität	" "
10 - 30	IrS, sL, L	Fruchtbarkeitsstufe 1 (*NE-Kl.: 1,2)	FAP-Reckenholz ²
5 - 40	IS, IrS, sL, L, tL, IU	Fruchtbarkeitsstufe 2 (*NE-Kl.: 2,3,5)	"
5 - 50	IS, IrS, sL, L, tL, tU, U, IU, tU alle möglich	Fruchtbarkeitsstufe 3 (*NE-Kl.: 4,5) Fruchtbarkeitsstufen IV- VIII (*NE-Kl.: 4,6,7,8,9,10)	" "

*NE-Kl. = Nutzungseignungsklassen

¹Arbeitsgruppe Bodenschutz, 1985. Beurteilung und Schutz der Böden. Leitfaden zur Ausscheidung von Fruchtfolgeflächen und Landwirtschaftszonen. Hrsg. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz

²Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich- Reckenholz (FAL, ehemals FAP), 1985. Fruchtbarkeitsstufen und Bodenpunktzahlen der landwirtschaftlich genutzten Böden der Schweiz. Unveröffentlicht.

Anhang 6.1-1: Die fünf Standorte (Fotos)

Standort Benken



Standort Bonstetten



Standort Gossau



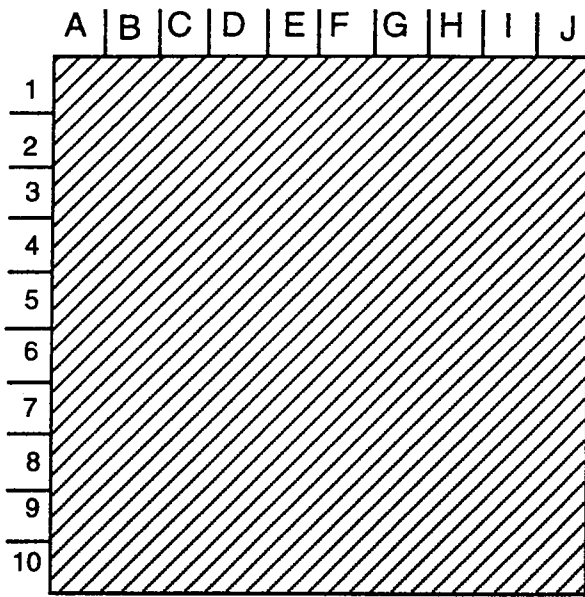
Standort Oberglatt



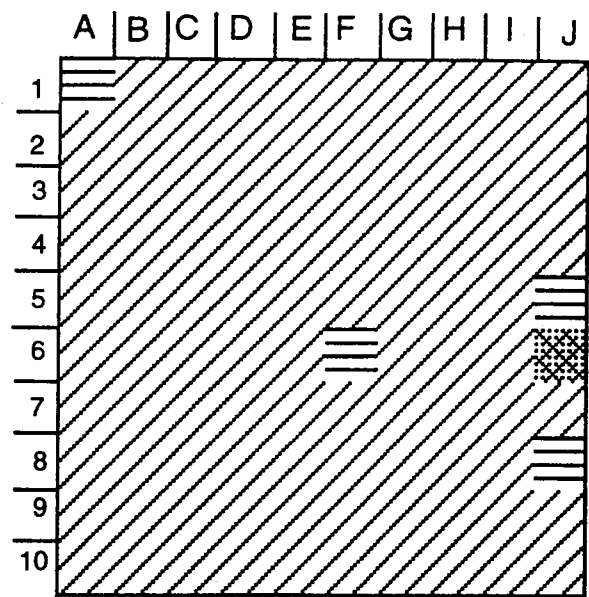
Standort Rifferswil



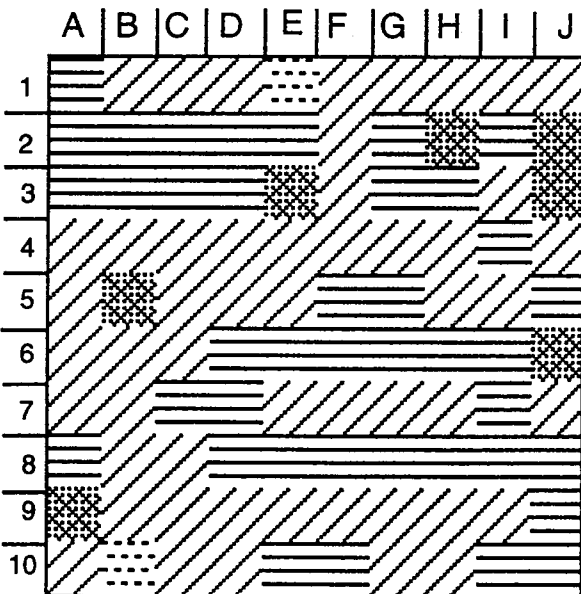
15 cm Tiefe



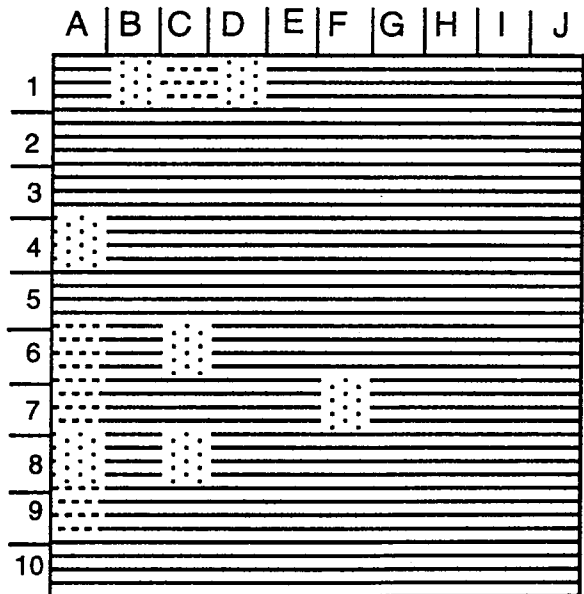
30 cm Tiefe











40 cm Tiefe



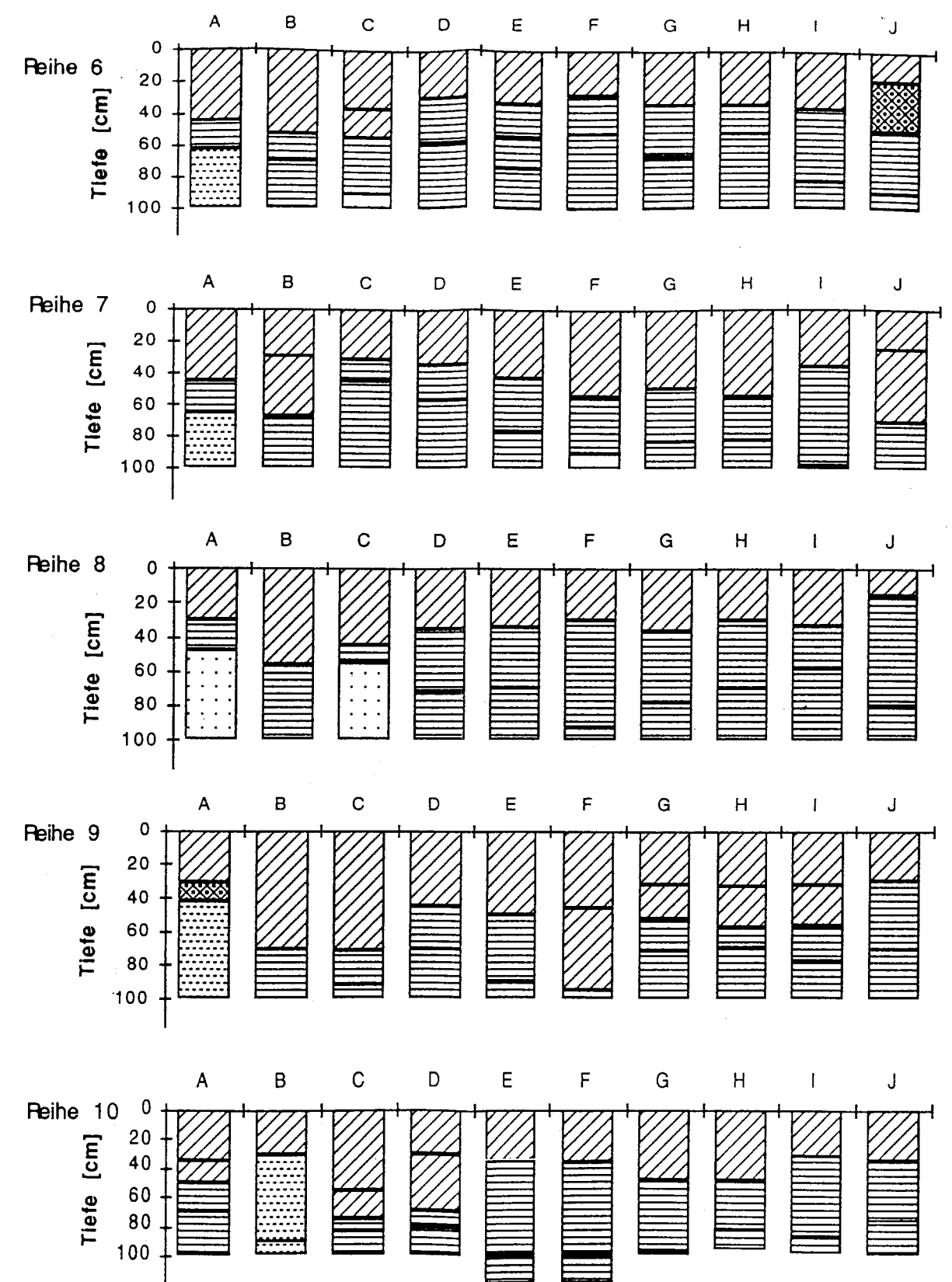
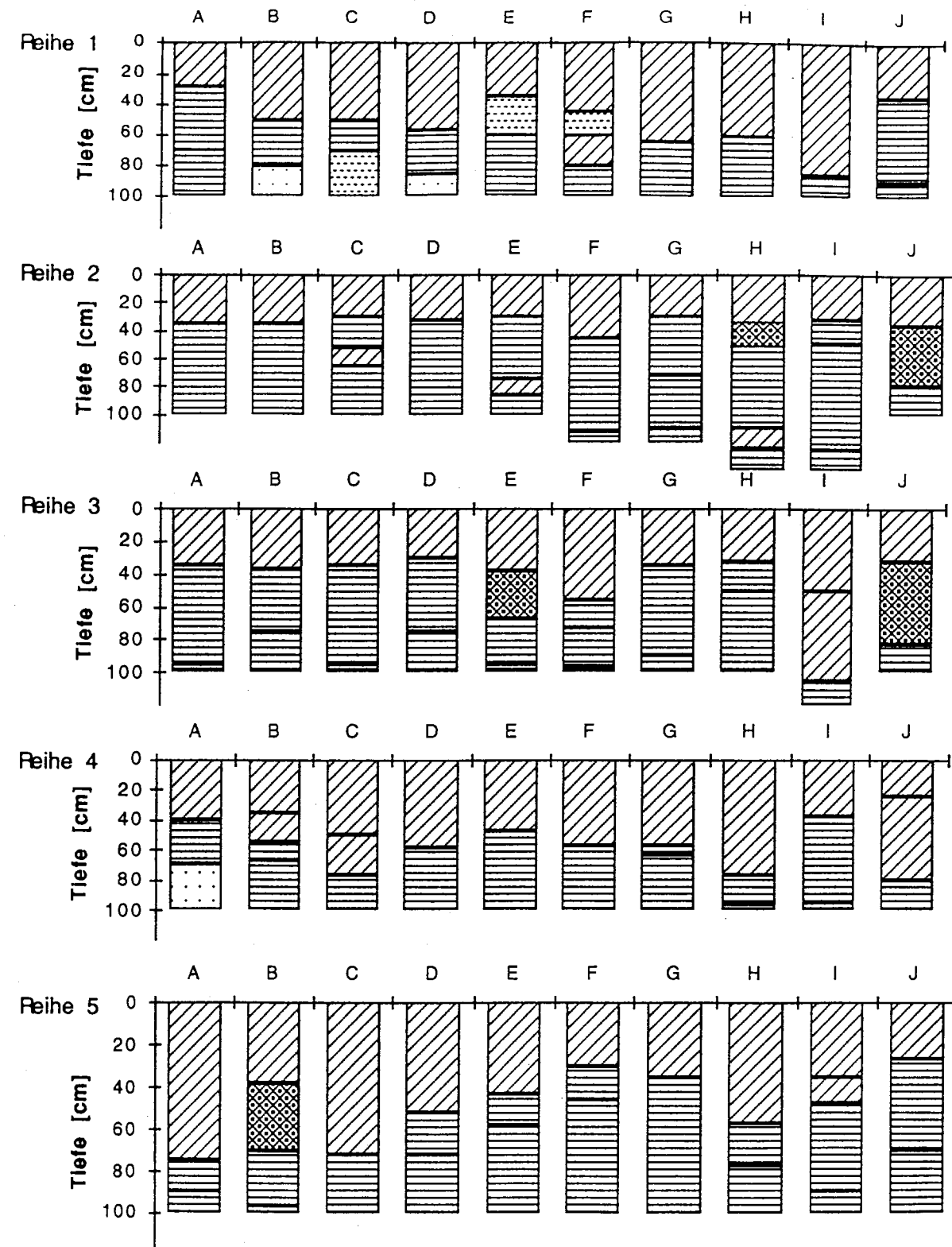
100 cm Tiefe



-  10%-30% org. Substanz
-  30%-50% org. Substanz
-  >50% org. Substanz

-  Sand und lehmiger Sand
-  sandiger Lehm und Lehm
-  Schluff und lehmiger Schluff
-  toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
-  Seekreide

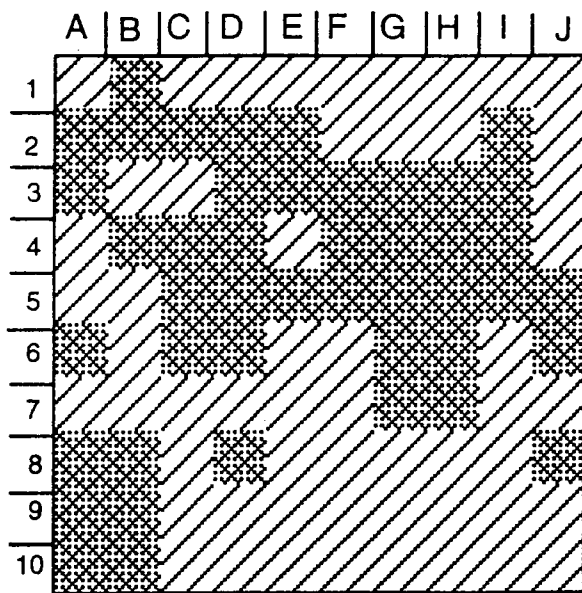
Anhang 6.2-1: Standort Bonstetten: Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche



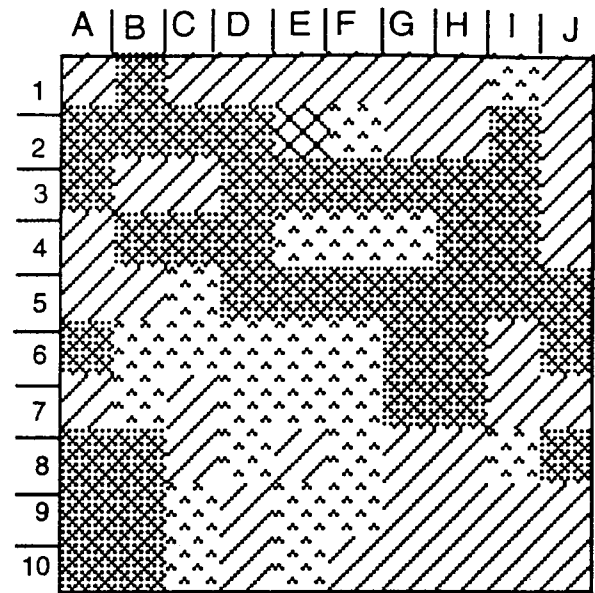
- | | | | |
|--|-----------------------|--|--|
| | 10%-30% org. Substanz | | Sand und lehmiger Sand |
| | 30%-50% org. Substanz | | sandiger Lehm und Lehm |
| | >50% org. Substanz | | Schluff und lehmiger Schluff |
| | | | toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden |
| | | | Seekreide |

Anhang 6.2-1: Standort Bonstetten: Tiefenprofile Schichtaufbau an den Beprobungspunkten

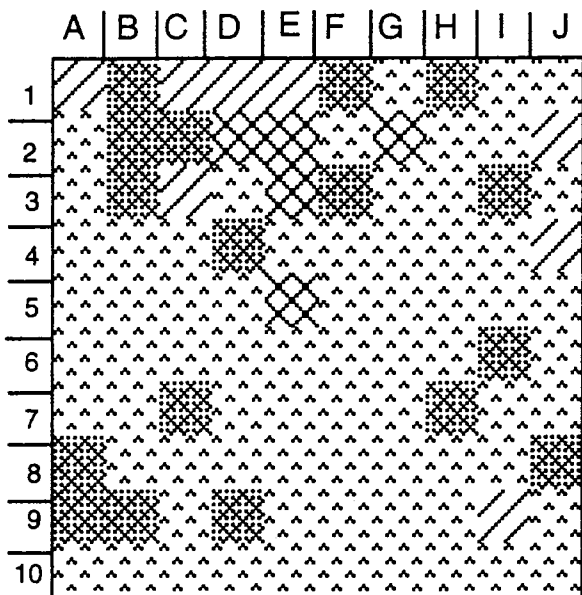
15 cm Tiefe



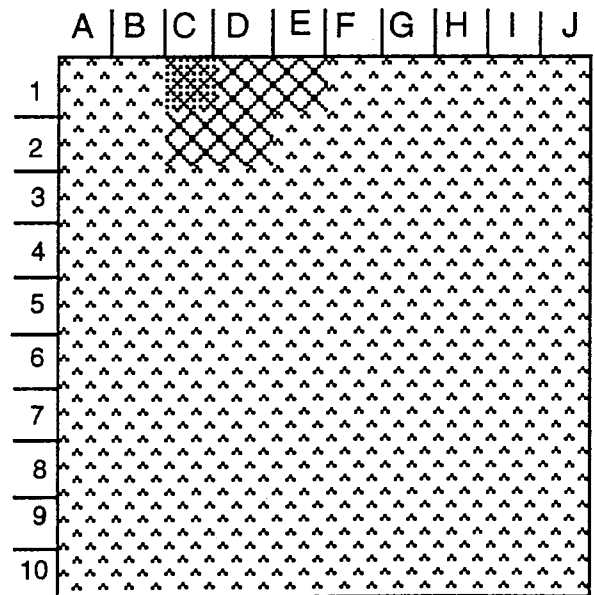
30 cm Tiefe











40 cm Tiefe



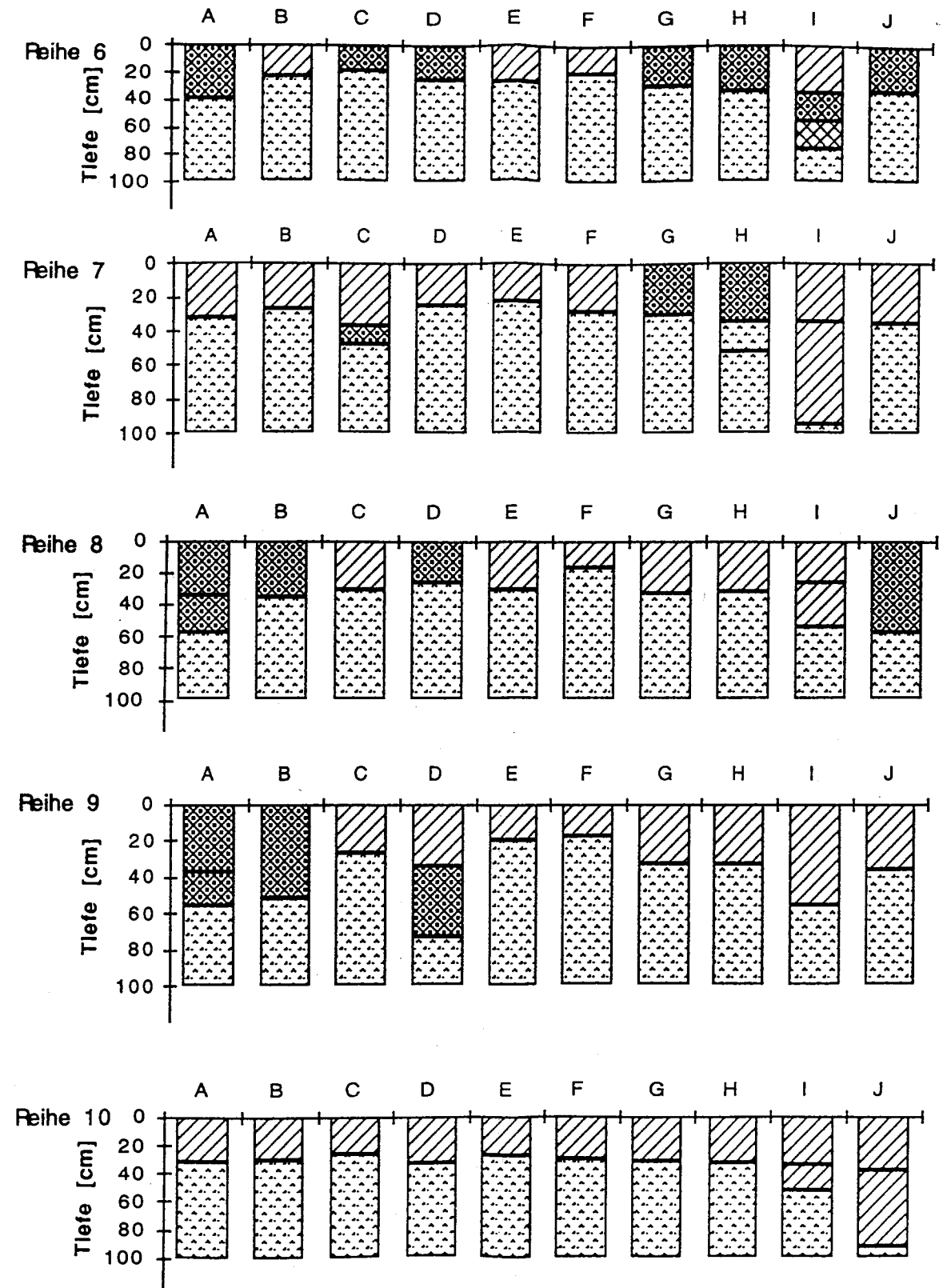
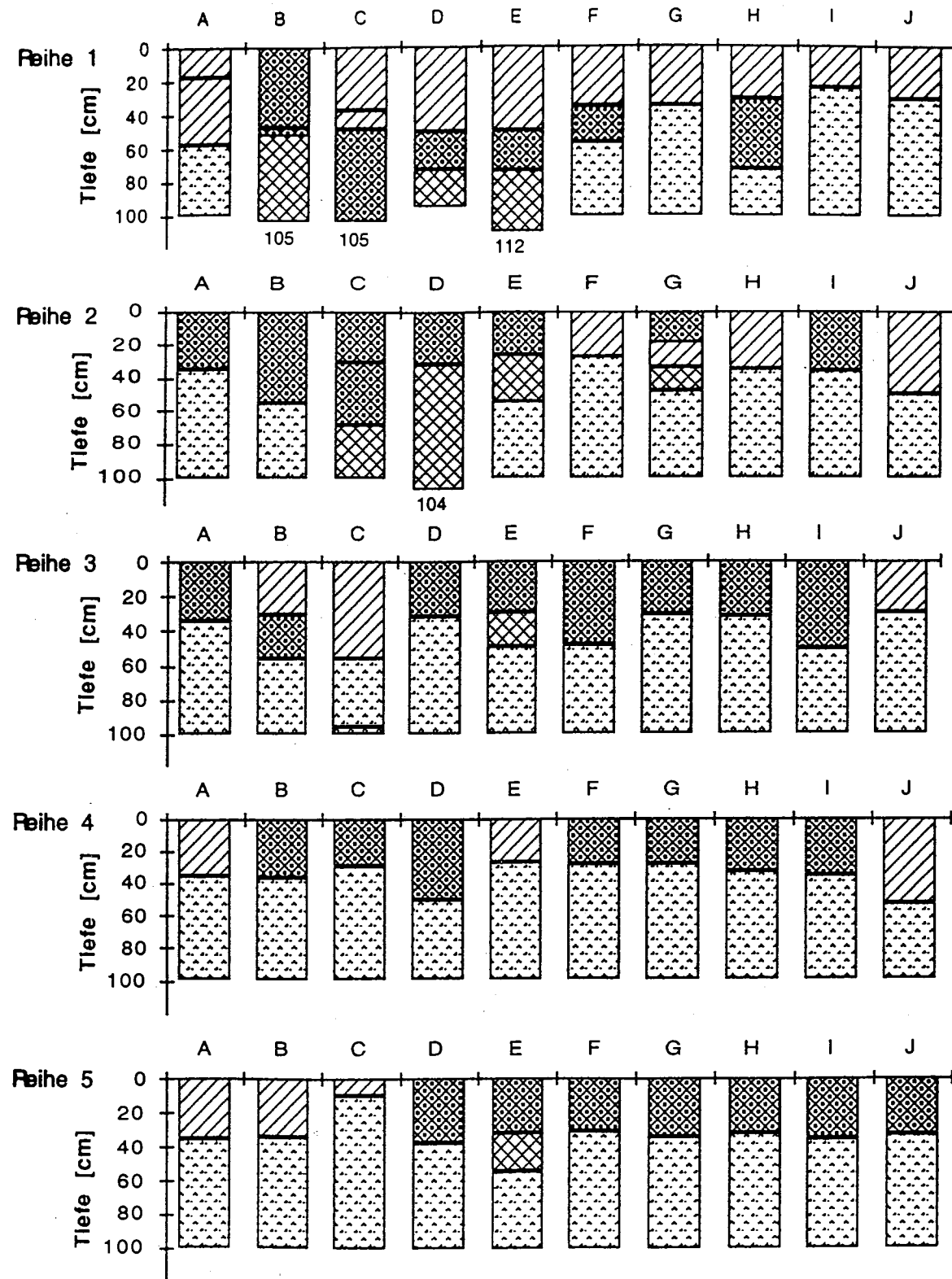
100 cm Tiefe



-  10%-30% org. Substanz
-  30%-50% org. Substanz
-  >50% org. Substanz

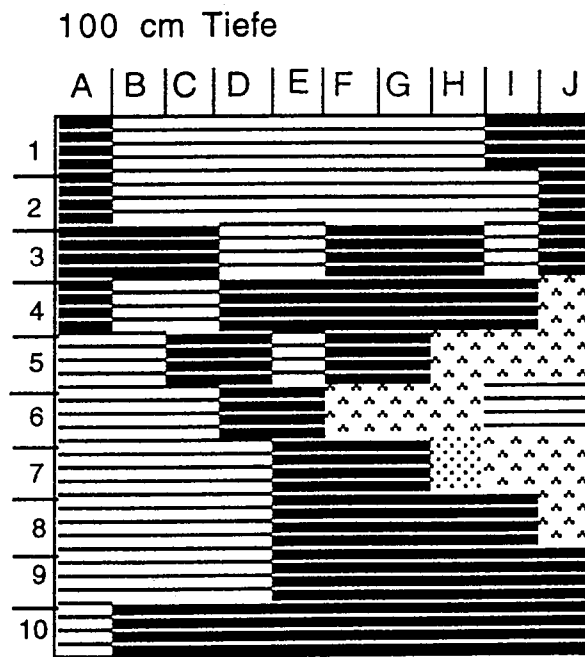
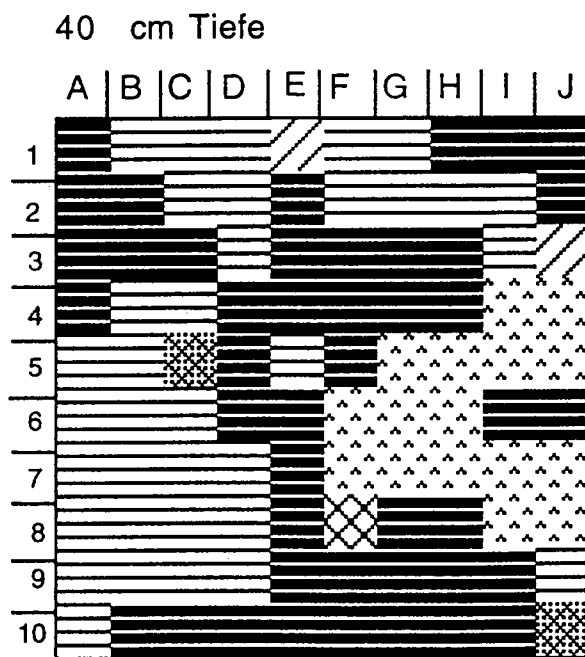
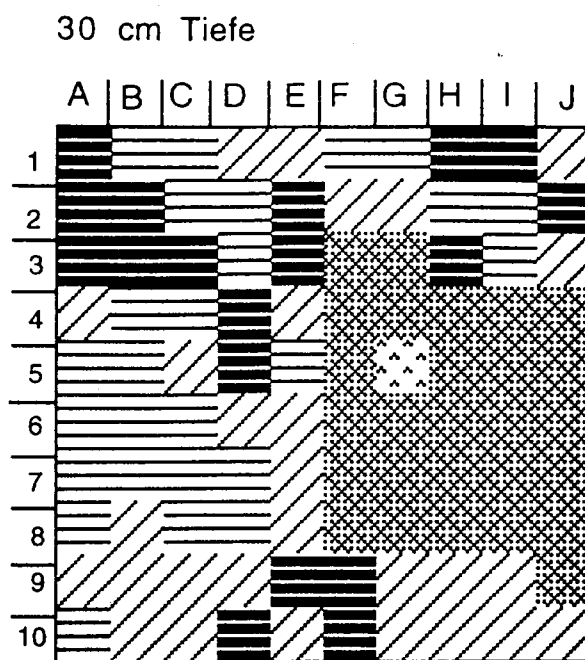
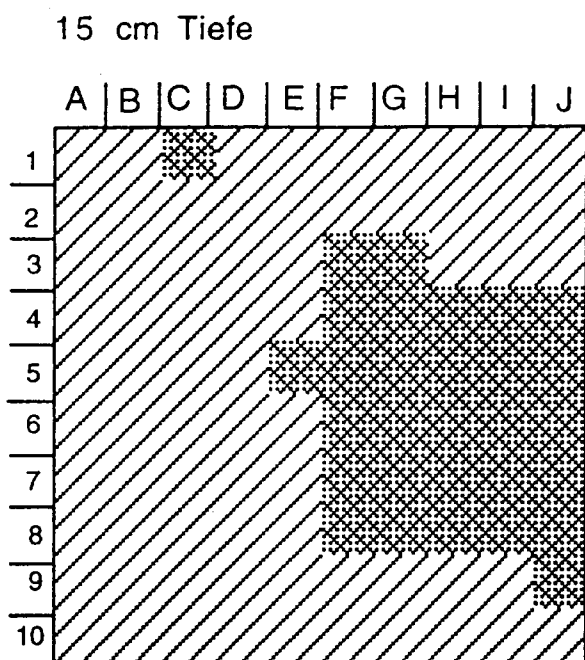
-  Sand und lehmiger Sand
-  sandiger Lehm und Lehm
-  Schluff und lehmiger Schluff
-  toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
-  Seekreide




Anhang 6.2-2: Standort Gossau: Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche








- 10%-30% org. Substanz
- 30%-50% org. Substanz
- Sand und lehmiger Sand
- sandiger Lehm und Lehm
- >50% org. Substanz
- Schluff und lehmiger Schluff
- toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
- Seekreide

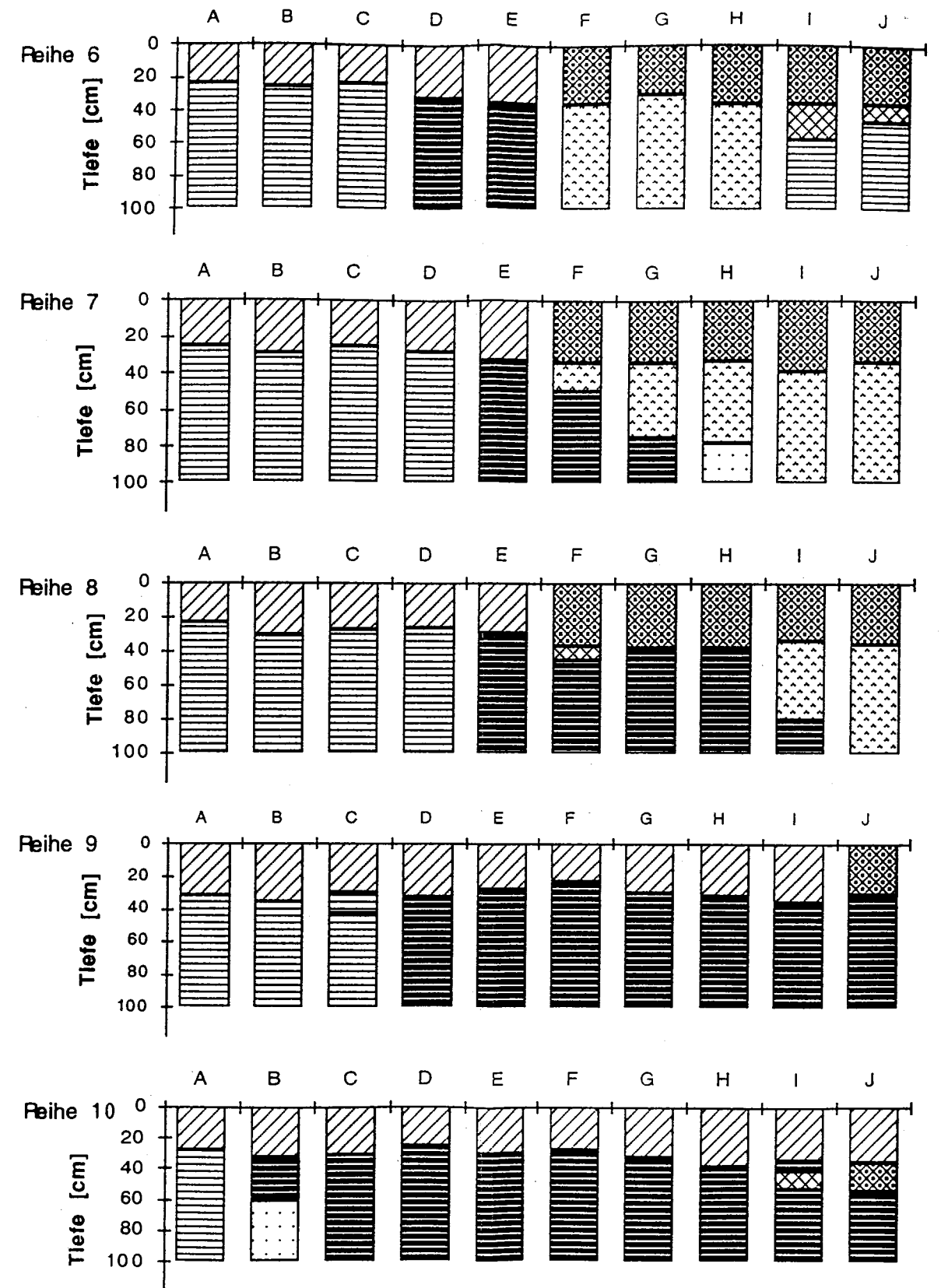
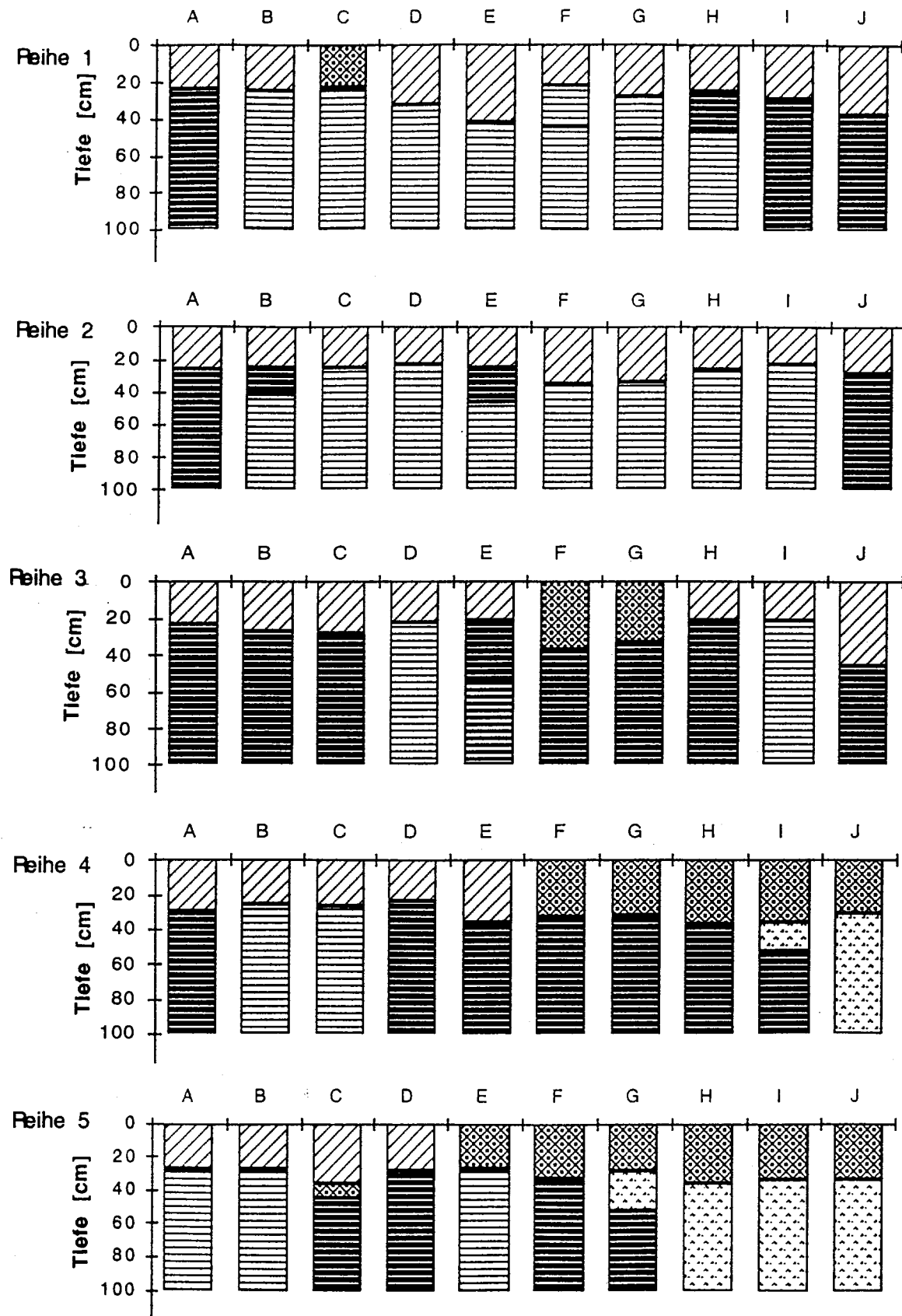
Anhang 6.2-2: Standort Gossau: Tiefenprofile Schichtaufbau an den Beprobungspunkten



-  10%-30% org. Substanz
-  30%-50% org. Substanz
-  >50% org. Substanz

-  Sand und lehmiger Sand
-  sandiger Lehm und Lehm
-  Schluff und lehmiger Schluff
-  toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
-  Seekreide

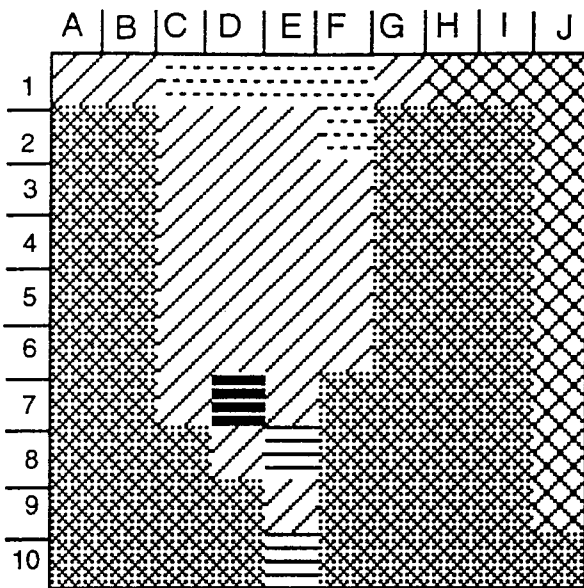
Anhang 6.2-3: Standort Oberglatt: Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche



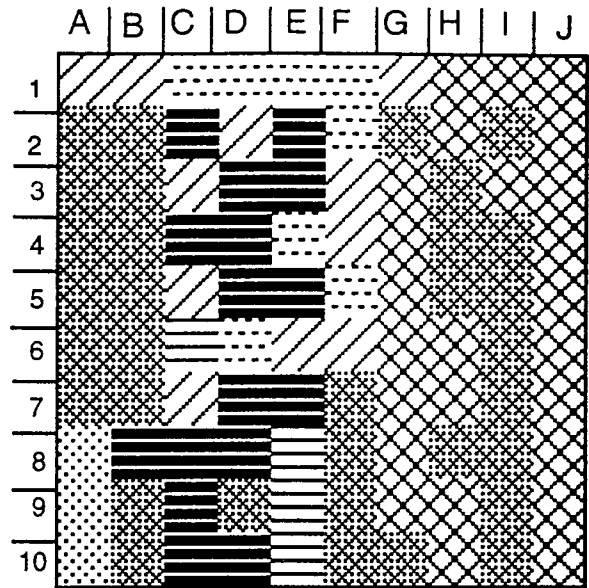
- | | | | |
|--|-----------------------|--|--|
| | 10%-30% org. Substanz | | Sand und lehmiger Sand |
| | 30%-50% org. Substanz | | sandiger Lehm und Lehm |
| | >50% org. Substanz | | Schluff und lehmiger Schluff |
| | | | toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden |
| | | | Seekreide |

Anhang 6.2-3: Standort Oberglatt: Tiefenprofile Schichtaufbau an den Beprobungspunkten

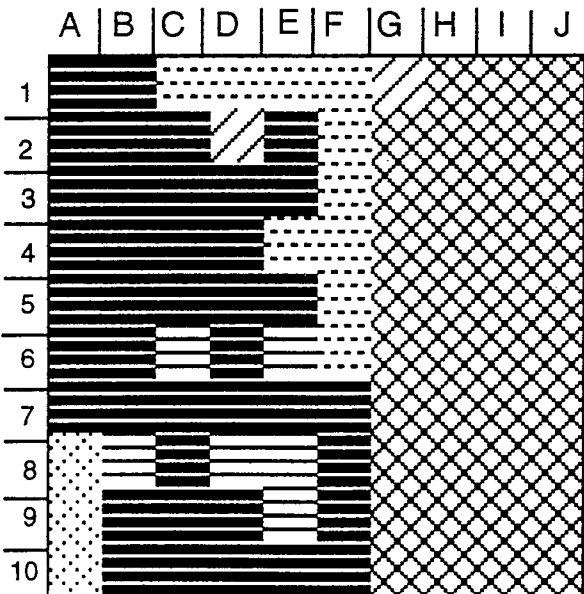
15 cm Tiefe



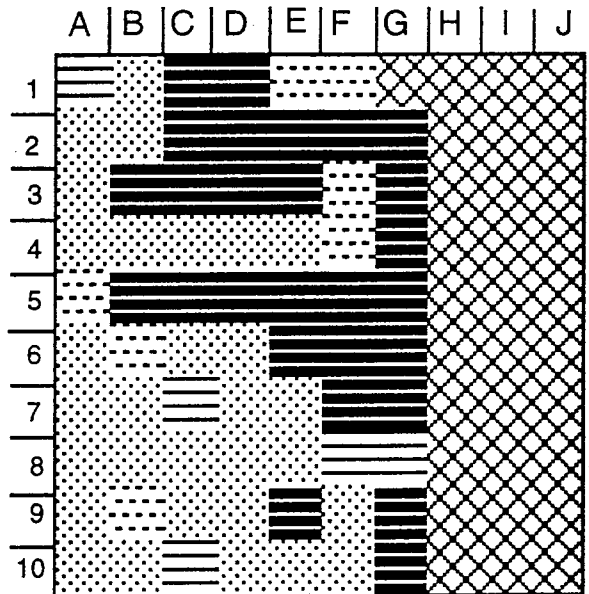
30 cm Tiefe











40 cm Tiefe



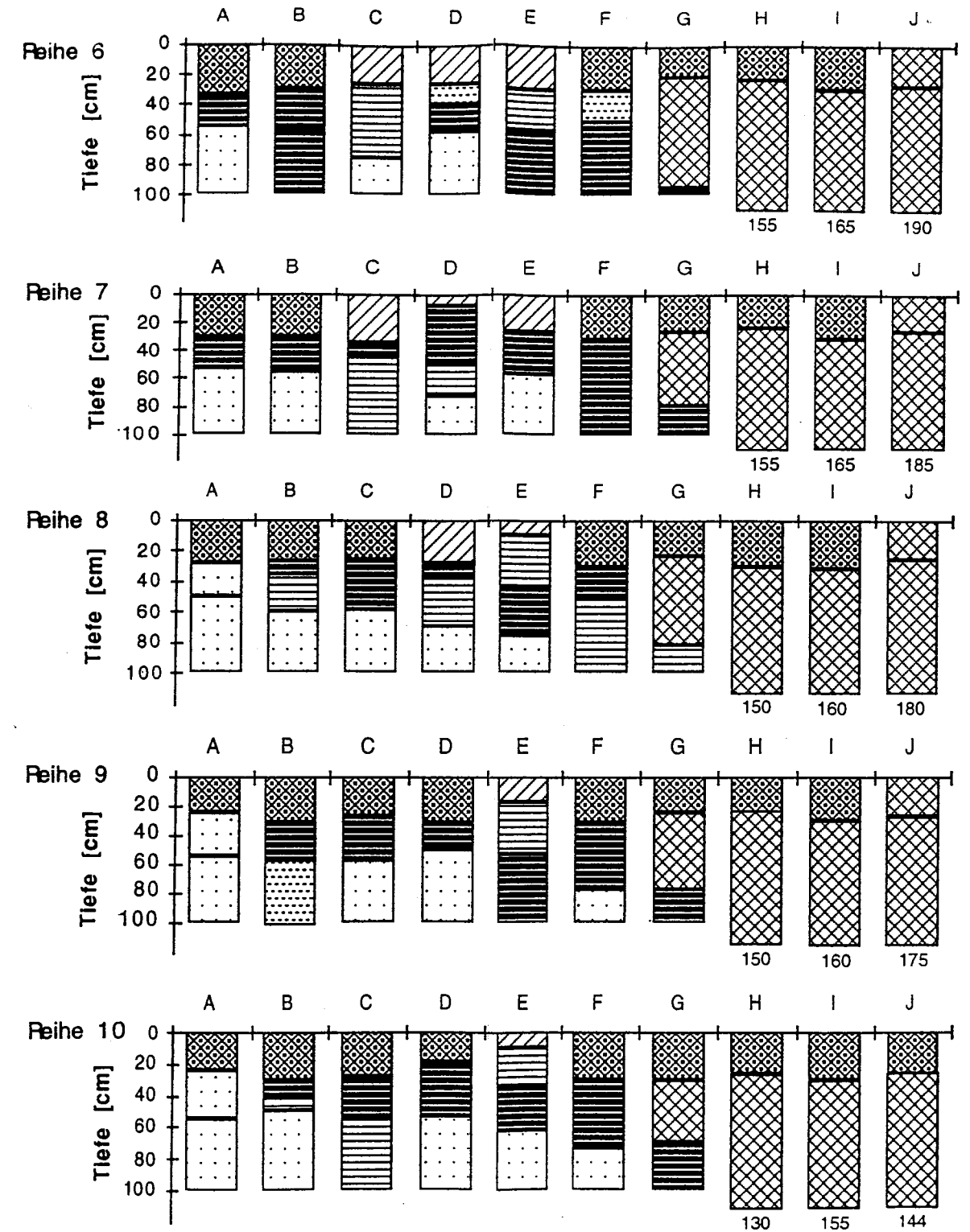
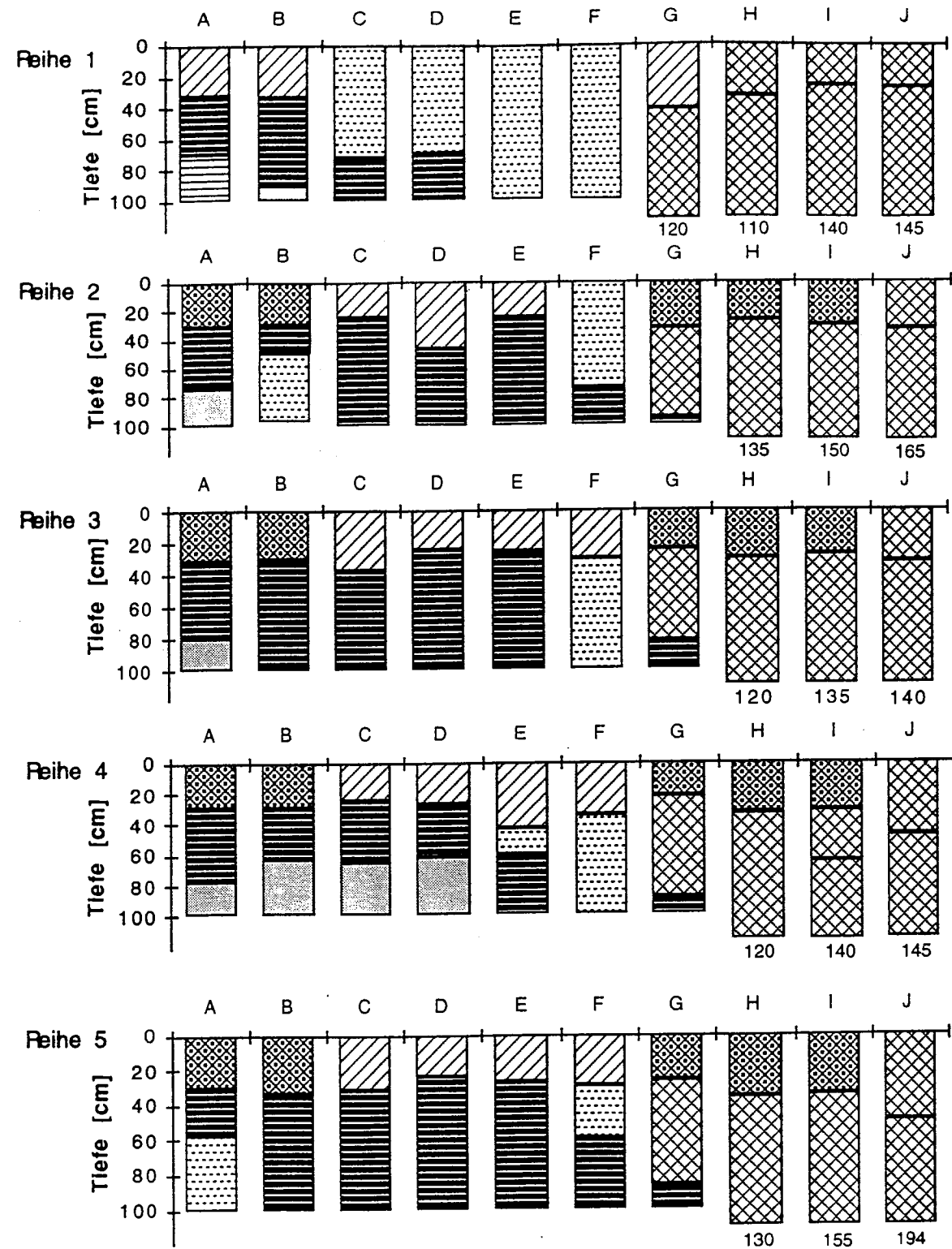
100 cm Tiefe



-  10%-30% org. Substanz
-  30%-50% org. Substanz
-  >50% org. Substanz

-  Sand und lehmiger Sand
-  sandiger Lehm und Lehm
-  Schluff und lehmiger Schluff
-  toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
-  Seekreide

Anhang 6.2-4: Standort Rifferswil: Torfschichten (> 30 % Humus), anmoorige Schichten (10-30 % Humus) und mineralische Schichten (Bodenart) in Tiefen von 15, 30, 40 und 100 cm unter Terrainoberfläche



- 10%-30% org. Substanz
- 30%-50% org. Substanz
- >50% org. Substanz
- Sand und lehmiger Sand
- sandiger Lehm und Lehm
- Schluff und lehmiger Schluff
- toniger Schluff, toniger Lehm und Tonboden
- Seekreide

Anhang 6.2-4: Standort Rifferswil: Tiefenprofile Schichtaufbau an den Beprobungspunkten