

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 135 (1984)

Heft: 10

Artikel: Zusammenhänge zwischen Entwässerbarkeit von Nassböden, makromorphologischen Bodenmerkmalen und Anwuchserfolg der Fichte

Autor: Schulin, Rainer / Richard, Felix

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766797>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zusammenhänge zwischen Entwässerbarkeit von Nassböden, makromorphologischen Bodenmerkmalen und Anwuchserfolg der Fichte¹

Von *Rainer Schulin* und *Felix Richard*

Oxf.: 237.2

(Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich, Fachbereich Bodenphysik)

1. Einleitung

Die Wiederbewaldung von Wildbacheinzugsgebieten und Rutschhängen des Alpennordrandes, speziell in der Flyschzone, stellt an die Aufforstungstechnik hohe Anforderungen. Die feinkörnigen, schweren Böden im kühlen und niederschlagsreichen Klima der Voralpen sind häufig vernässt. Das ist besonders dann der Fall, wenn sie durch Weidegang zusätzlich verdichtet wurden (*Brühlhart, 1970*). Unter Vernässung verstehen wir einen Bodenzustand mit periodisch hoher Teilsättigung bis Sättigung. In solchen Phasen ist der Wurzelraum nicht normal durchlüftet; das Wurzelwachstum und die Wurzelaktivität werden gehemmt. Nassböden sind besonders für Fichte, die auf solchen Standorten zur Aufforstung verwendet wird, kritisch. Die Kenntnis des Wasserhaushaltes von Nassböden und dessen Einfluss auf die Wurzelentwicklung muss speziell gepflegt werden.

Vernässte Böden können ihrer periodisch schlechten Durchlüftung wegen von den Wurzeln zahlreicher Baumarten, speziell auch der Fichte, nur oberflächlich erschlossen werden und sind in vielen Fällen ohne vorherige Drainage nicht aufforstungsfähig. Die bodenphysikalischen Grundlagen der Entwässerbarkeit von Böden sind eingehend definiert worden (*Richard, 1973; Schuster, 1974*). Die Wirkung der Entwässerung in bezug auf den Aufforstungserfolg ist in der Schweiz von *Grünig (1955)* und *Ettlinger (1976)* untersucht worden. Im folgenden werden Zusammenhänge dargestellt, die im Rahmen einer Diplomarbeit an der Abteilung VI der ETH am Beispiel einer Aufforstung im 2. Forstkreis des Kantons Freiburg zwischen dem Anwuchs-

¹ Aus der Diplomarbeit von *R. Schulin*: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen makromorphologischen Bodenmerkmalen, Entwässerbarkeit und Aufforstungserfolg auf Nassböden, dargestellt an geeigneten Aufforstungen. ETH Zürich, 1982.

erfolg von Fichtenjungpflanzen, verschiedenen Bodeneigenschaften und unterschiedlichen Entwässerungsbedingungen gefunden wurden.

2. Standort

Die untersuchte Aufforstung «Gaussmättli» liegt im Oberen Plasselschlund, dem Einzugsbecken des Aergerabaches oberhalb Plasselb, Kanton Fribourg, Landeskarte 1:25 000, Blatt 1225 «Gruyères», Koordinaten 1695/5840. Die Höhenlage des «Gaussmättli» variiert zwischen 1225 m und 1590 m ü.M. Im Mittel beträgt sie rund 1360 m ü.M.

Das Klima zeichnet sich durch lange, schneereiche Winter aus. Die Jahresmitteltemperatur der nahegelegenen Station La Valsainte (1015 m ü.M.) ist mit 6,4 °C, der durchschnittliche Jahresniederschlag mit 1620 mm angegeben (Uttinger, 1964).

Die geologische Unterlage besteht im engeren Untersuchungsgebiet (siehe unten) aus Hangrutschmaterial des Gurnigel-Wildflysch und setzt sich aus kleinräumig wechselnden Anteilen von Sandstein, Mergel- und Tonschiefer zusammen.

3. Untersuchungsfläche

Die starke Vernässung des zuvor alpwirtschaftlich genutzten Bodens im «Gaussmättli» machte für die Aufforstung eine künstliche Entwässerung erforderlich. Die sehr ungleichmässige Entwässerbarkeit hatte dabei zur Folge, dass einzelne Partien durch die Drainage unzureichend erfasst wurden. Diesem Umstand war es aber für die vorliegende Arbeit zu verdanken, dass auf einer eng begrenzten Fläche (etwa 100 x 50 m) unter praktisch gleichen Randbedingungen (1380 bis 1390 m ü.M., 20 bis 30 % Neigung, SW- bis W-Exposition) Stichprobenflächen folgender Bodentypen ausgeschieden werden konnten:

- A grabenfern (> 7 m), schwach vernässt
- B grabenfern (> 7 m), stark vernässt
- C₀ Grabenrand ohne Aushubauflage in stark vernässter Fläche
- C_m Grabenrand mit Aushubauflage in stark vernässter Fläche

4. Bodentypen

In der *Abbildung 1* ist für die verschiedenen Flächentypen je ein repräsentatives Bodenprofil skizziert. Alle vier Bodentypen haben Merkmale eines Hanggleys. Charakteristisch für den Bodentyp eines Gleys ist der mit G bezeichnete Gleyhorizont, dessen obere, nur periodisch wassergesättigte Oxidationszone (G_O) nach unten in eine praktisch undurchlässige, ständig wassergesättigte, anaerobe Reduktionszone (G_R) übergeht. Lage und Mächtigkeit der G_O - und der G_R -Zone kennzeichnen den Schwankungsbereich des Stauwasserspiegels.

Bodentyp A (in Abbildung 1):

Horizontenfolge	A_h	–	(E) G_O	–	$G_{O,(r)}$	–	$G_{R,(o)}$	–	G_R
	0–15		15–40		40–70		70–105		> 105 cm

Bodentyp: Fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley

Im Vergleich zu den anderen Gley-Varianten war hier die Oxidationszone besonders intensiv und mächtig. Der Oberboden war mit einem mittleren k-Wert von 130 cm/d bis in eine Tiefe von rund 40 cm annähernd normal durchlässig. Diese hohe Wasserleitfähigkeit erklärt sich vor allem aus den zahlreichen Schwundrissen in der ansonsten dichten Bodenmatrix. Bei einigen Bohrkernen war im oberen Teil der Oxidationszone sogar eine beginnende Verbraunung festzustellen. Verbraunung deutet auf eine homogenere periodische Durchlüftung des betreffenden Horizontes hin. Sie kann makromorphologisch an der gleichförmigeren braunen Farbe der Matrix erkannt werden.

Bei der Humusform handelte es sich um Mull. Dieser Bodentyp kann mit der Lokalform «Heumooseeg 2» (Richard und *Lüscher*, in Vorbereitung) verglichen werden, obwohl letzteres Profil noch deutlicher verbraunt ist.

Bodentyp B:

Horizontenfolge	$A_{h,a}$	–	$G_{O,(r)}$	–	$G_{R,(o)}$	–	G_R^1	–	G_R^2
	0–20		20–50		50–70		70–80		> 80 cm

Bodentyp: Anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

Im Unterschied zur Gley-Variante A war dieser Gley auch im Humuserdehorizont ($A_{h,a}$) durch periodische Anaerobie, das heisst hydromorph geprägt. Dies äusserte sich in einer Anreicherung der organischen Substanz

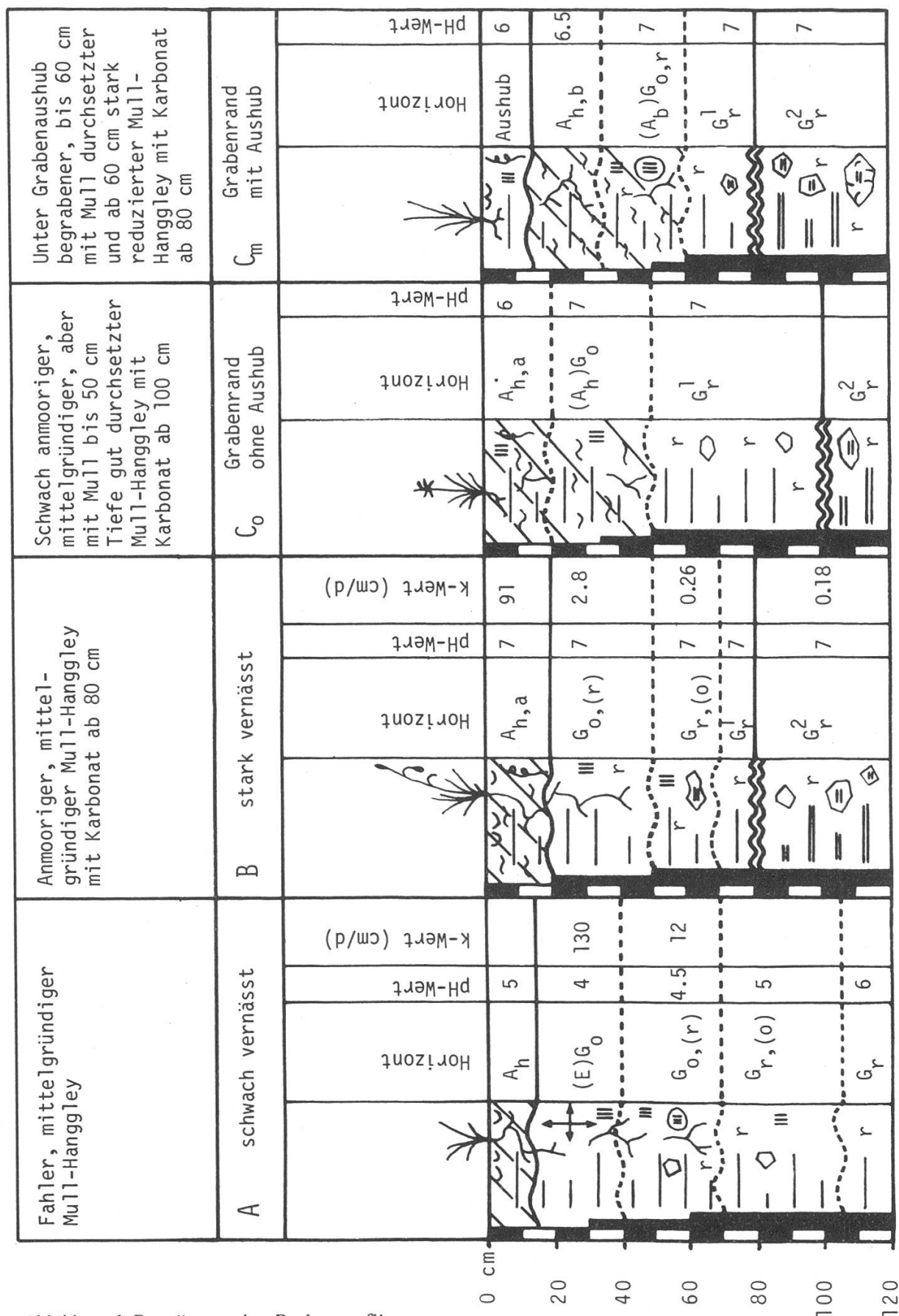


Abbildung 1. Repräsentative Bodenprofile der untersuchten Standorte. Symbole und Signaturen nach Richard, Lüscher und Strobel (1978).

und im typisch anmoorigen Geruch. Die Humusform war ein anmooriger Mull.

Die Oxidationszone des Gleyhorizontes war nur undeutlich ausgebildet und ging bereits in 30 bis 40 cm Tiefe in die sehr dichte, nahezu undurchlässige und bei den meisten Profilen auch mergelreiche Reduktionszone (G_r) über. Dieser Bodentyp entsprach weitgehend der Lokalform «Chnoden» (Richard, Lüscher und Strobel, 1978).

Bodentyp C_0 (am Grabenrand ohne Aushubüberdeckung):

Horizontenfolge	$A_{h,a}$	$-(A_h)G_o$	$-G_r^1$	$-G_r^2$
	0–20	20–50	50–10 0	> 100 cm

Bodentyp: Schwach anmooriger, mittelgründiger, aber mit Mull bis 50 cm Tiefe gut durchsetzter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 100 cm

Bodentyp C_m (am Grabenrand mit 15 cm Aushubüberdeckung):

Horizontenfolge	Aushub (Auftrag)	$-A_{h,b}$	$-(A_b)G_{o,r}$	$-G_r^1$	$-G_r^2$
	0–15	15–35	35–60	60–80	> 80 cm

Bodentyp: Unter Grabenaushub (Auftrag) begrabener, bis 60 cm durchsetzter und ab 60 cm stark reduzierter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

Die Gley-Böden der Grabenrandstandorte C_0 und C_m unterschieden sich (abgesehen von der Aushubüberdeckung bei C_m) von der Gley-Variante B makromorphologisch dadurch, dass sie besonders tiefreichend (50 bis 60 cm) mit Humussubstanz durchsetzt waren. Diese Besonderheit wurde mit dem natürlichen Kleinrelief in Zusammenhang gebracht.

5. Untersuchungen zum Wasserhaushalt

In der Zeit vom 5. Juni bis 14. Juli 1982 wurden in verschiedenen Tiefen (10, 30, 50 und 80 cm) der oben skizzierten Bodenprofile (*Abbildung 1*) die Saugspannung des Bodenwassers gemessen. Ausserdem wurden an verschiedenen Tagen in insgesamt 26 Bohrlöchern die Tiefe des freien Wasserspiegels abgelesen. In bezug auf die Niederschlagsverteilung lässt sich die Mess-

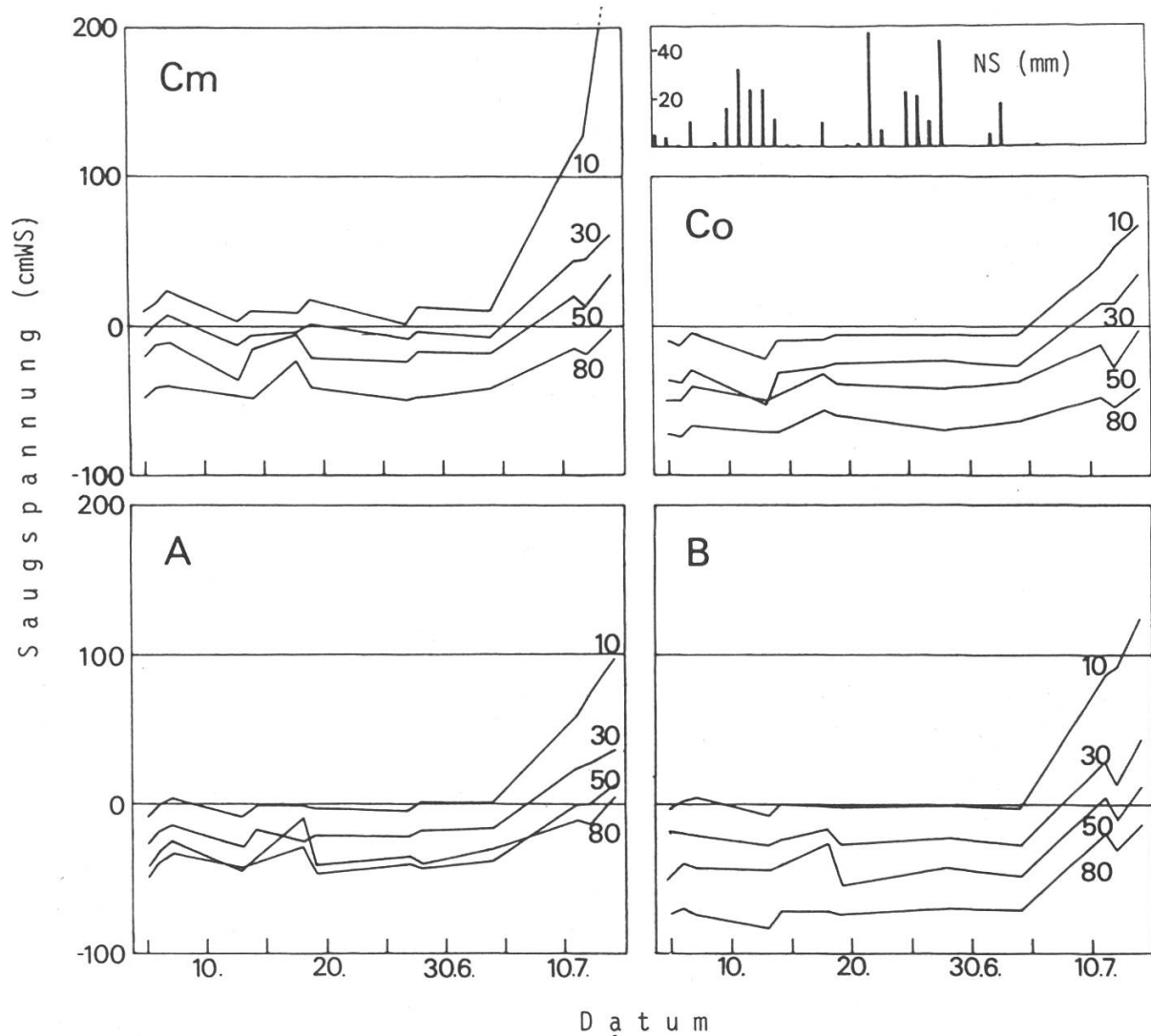


Abbildung 2. Zeitlicher Verlauf der kapillaren Saugspannungen in Bodentiefen von 10, 30, 50 und 80 cm für je eine Probe­fläche der Gley-Varianten A, B, C₀ und C_m (Abschnitt 3, «Untersuchungsfläche») während der Zeit vom 5.6. bis 14.7.1982. Bei den Gley-Varianten C₀ und C_m wurden die Saugspannungen in 1,0 m Abstand vom Grabenrand gemessen. Oben rechts: Niederschlagsverteilung (NS) während der Messperiode, Station La Valsainte.

periode in zwei Teilperioden unterteilen: Auf eine etwa vierwöchige Nassperiode vom 5. Juni bis zum 3. Juli 1982 folgte eine niederschlagsfreie Periode, die bis zum Abschluss der Messungen am 14. Juli anhielt (Abbildung 2).

Während der vierwöchigen Nassperiode stand der Hangwasserspiegel bei allen Profilen stets mehr oder weniger dicht unter der Bodenoberfläche; in den stark vernässten Flächen waren es oft sogar nur wenige Zentimeter. Durchschnittlich am tiefsten (rund 30 cm) stand er in dieser Zeit bei den Grabenrändern mit Aushubauflage (Abbildung 3). Im Verlauf der Trockenperiode sanken die Wasserspiegel dann innerhalb von zehn Tagen bei den stark vernässten Standorten (Gley-Varianten B, C₀, C_m) in mittlere Tiefen von 50 bis 60 cm und bei den nur wenig vernässten, also ökophysiologisch «frischeren» Standorten (Gley-Variante A) bis etwa 90 cm ab (Abbildung 3). Bei

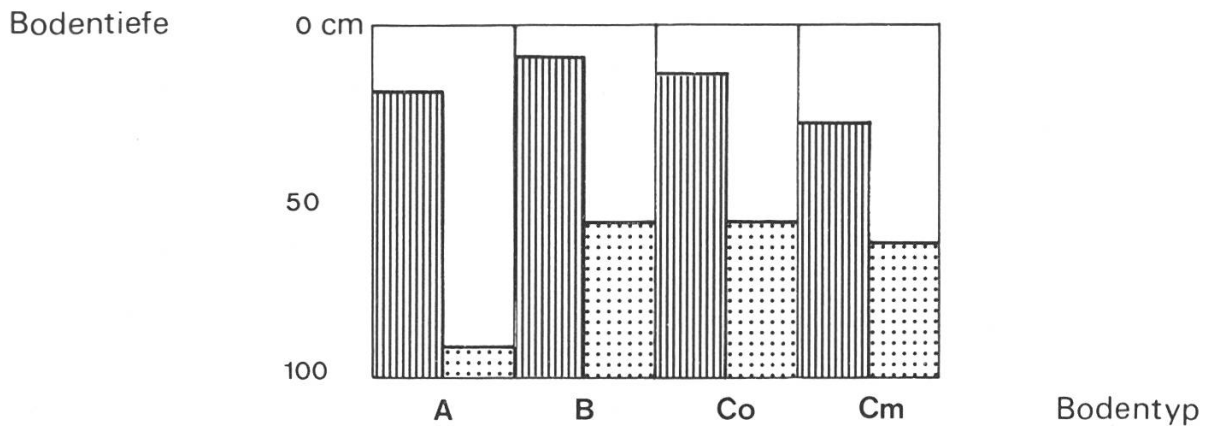


Abbildung 3. Mittlere Wasserspiegelstände für die untersuchten Gley-Varianten A, B, C₀ und C_m, gemessen am Ende einer Nassperiode (schraffiert) und nach zehntägiger Austrocknung (punktiert). A = fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley, B = anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley, C₀ = schwach anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley an Grabenrand, C_m = unter Grabenaushub begrabener, ab 60 cm stark reduzierter Mull-Hanggley an Grabenrand.

allen Profilen war damit neben dem Mullhorizont auch die Oxidationszone des Gleyhorizontes (G₀ bzw. G_{0(r)}) bis in den Übergangsbereich zur Reduktionszone (G_r) wasserspiegelfrei. Die in den Mull-Horizonten (0 bis 15 cm bei Bodentyp A, 0 bis 20 cm bei Bodentyp B und C₀, 15 bis 35 cm bei Bodentyp C_m) gemessenen Saugspannungen kletterten währenddessen aus dem Bereich der Wassersättigung (Saugspannung Null) auf Werte in der Größenordnung von 100 cm WS (= 0,1 bar). Im Aushubhorizont (0 bis 15 cm) von Profil C_m erreichte sie nahezu 300 cm WS (Abbildung 2).

Bemerkenswert ist, dass zwischen den grabenfernen und grabennahen Orten der stark vernässten Flächen im Saugspannungsverlauf praktisch keine Unterschiede gefunden werden konnten. Bei den Grabenrändern mit Aushub (Gley-Variante C_m) ist dabei die erhöhte Lage der Bezugsebene zu beachten: Bezieht man die Saugspannungen dieses Profils auf die in 15 cm Tiefe begrabene ursprüngliche Bodenoberfläche, so ergibt sich hier für den gewachsenen Boden dasselbe Bild wie bei den Gley-Varianten B und C₀ (Abbildung 2). Aus diesen Messungen kann daher gefolgert werden, dass die Gräben in den stark vernässten Böden bereits in 1 m Abstand vom Grabenrand keine merkliche Bodenentwässerung mehr bewirkten. Ökologisch-standörtlich bedeutet aber der Grabenaushub von 15 cm Mächtigkeit eine wesentliche Bodenverbesserung.

Ziel der durchgeführten Saugspannungsmessungen war es auch, die Bodendurchlüftungsverhältnisse näher zu charakterisieren. Nach Flühler (1973) wurde davon ausgegangen, dass für ein ungehindertes Wachstum der Baumwurzeln mindestens 7 bis 10 %_v des Bodenvolumens von der Bodenoberfläche bis zum betreffenden Ort kontinuierlich Luftporen sein müssen. Aufschluss darüber, bei welchen Saugspannungen diese Bedingung erfüllt ist, geben die Desorptionskurven eines Bodens. Da eine Bestimmung von De-

sorptionskurven im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war und da mit diesem Verfahren ohnehin nur eine Schätzung der Durchlüftungsverhältnisse angestrebt werden kann, wurden hierzu im Analogieschluss die Desorptionskurven der makromorphologisch vergleichbaren Lokalformen «Heumoosegg 2» (Gley-Variante A) und «Chnoden» (Gley-Variante B) verwendet (Abschnitt 4: «Bodentypen»). Aufgrund eines solchen Analogieschlusses ist anzunehmen, dass die Zone mit ausreichender Bodendurchlüftung in der stark vernässten Gley-Variante B (anmooriger Mull-Hanggley) ausgehend von einer nahezu profilumfassenden Wassersättigung auch nach zehntägiger Niederschlagsfreiheit noch nicht einmal ganz die oberste Mess-tiefe von 10 cm ($A_{h,a}$ -Horizont) erreicht hatte, während sie im gleichen Zeitraum in der nur schwach vernässten Gley-Variante A (fahler, mittelgründiger Hanggley) bis in 30 cm Tiefe vordringen konnte (Abbildung 4).

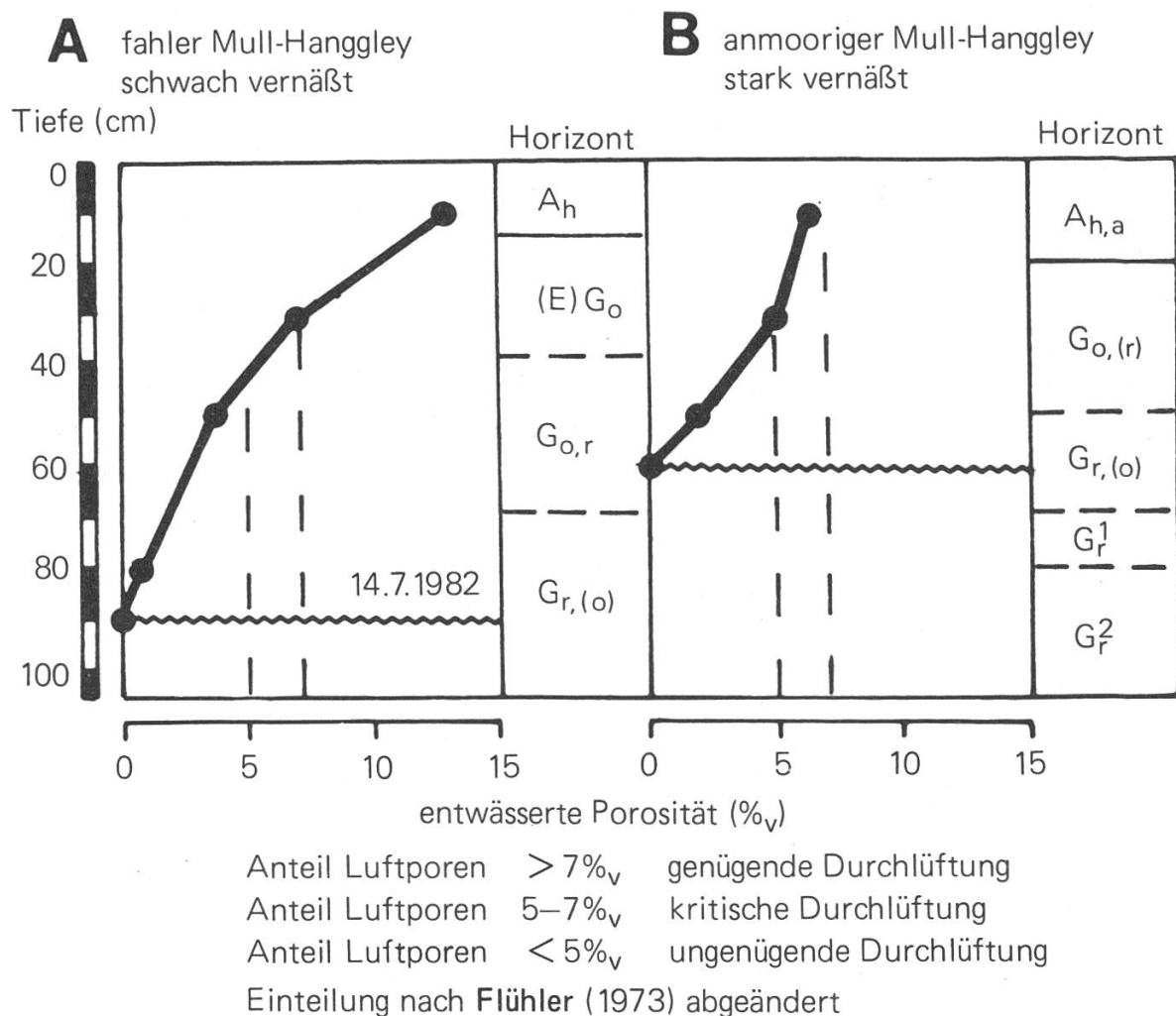


Abbildung 4. Durch Analogieschluss mit den makromorphologisch vergleichbaren Lokalformen «Heumoosegg 2» bzw. «Chnoden» (Richard, Lüscher und Strobel, 1978; Richard und Lüscher [in Vorbereitung]) ermittelte entwässerte Porosität der Gley-Varianten A und B (siehe Abbildung 1) nach zehntägiger Austrocknung am 14.7.1982 (siehe Abschnitt 5). In Profil B steht der Bodenwasserspiegel (Wellenlinie) dicht über der ständig wassergesättigten, undurchlässigen Reduktionszone G_r . Dieser Entwässerungszustand stellt damit auch annähernd die Grenze der künstlichen Dränierbarkeit dar.

6. Anwuchserfolg

Die Untersuchungsfläche war im Frühjahr 1977 aufgeforstet worden. Ge-
setzt wurden 5jährige Fichten-Verschulpflanzen in einem Verband von rund
1,4 x 1,4 m. Der Anwuchserfolg war auf den einzelnen Teilflächen je nach
Bodentyp bzw. Vernässungsgrad ausserordentlich verschieden. Während die
Fichten auf den stark vernässten Böden der Gley-Variante B (anmooriger,
mittelgründiger Mull-Hanggley) in ihrer Vitalität meist stark reduziert
waren, machten sie auf der weniger vernässten Gley-Variante vom Typ A
(fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley) sowie auf den Grabenrändern mit
Aushub (Gley-Variante C_m) einen mehrheitlich gesunden und kräftigen
Eindruck (*Tabelle 1*).

Auf den stark vernässten Flächen der Gley-Variante B war es den jungen
Fichten auch nach fünfjährigem Freiland nicht gelungen, den Pflanzschock
zu überwinden (*Tabelle 2*). Bei knapp 60 % von ihnen wurde der Verlust des
ursprünglichen Gipfeltriebes festgestellt (*Tabelle 3*). Jeweils über 80 % der
Pflanzen wiesen nur drei Nadeljahrgänge, Kurzadeligkeit und eine mehr
oder weniger ausgeprägte Nadelvergilbung (Chlorose) auf (*Tabelle 3*). Dem-
gegenüber zeigten die Fichtenjungpflanzen der wenig vernässten Flächen
(Gley-Variante A) bzw. der Grabenränder mit Aushub (Gley-Variante C_m)
eine rasche Erholung vom Pflanzschock mit einem jährlich zunehmenden
Höhenwachstum (*Tabelle 2*). In 83 % bzw. 96 % der Fälle wiesen die Bäum-
chen dieser Flächen vier oder mehr Nadeljahrgänge auf. Chlorosen waren
hier nicht zu erkennen, und Kurzadeligkeit trat nur vereinzelt auf (*Tabelle*
3). Ein Verlust des ursprünglichen Gipfeltriebes war erheblich seltener ein-

Tabelle 1. Vitalität der Fichtenjungpflanzen in Abhängigkeit vom Vernässungsgrad verschiede-
ner Gley-Varianten und der Entfernung zum nächsten Entwässerungsgraben. Prozentuale Ver-
teilung nach Vitalitätsklassen.

Vitalitätsklasse	Gley-Variante			
	A schwach vernässt	B stark vernässt	C ₀ Grabenrand ohne Aushub	C _m Grabenrand mit Aushub
4 sehr kräftig	62	—	3	53
3 gesund	38	—	7	47
2 geschwächt	—	48	47	—
1 abgehend	—	50	40	—
0 dürr	—	2	3	—

Bodentypen:

A: fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley

B: anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

C₀: schwach anmooriger, mittelgründiger, aber mit Mull bis 40 cm Tiefe gut durchsetzter
Mull-Hanggley mit Karbonat ab 100 cm

C_m: unter Grabenaushub begrabener, bis 60 cm mit Mull durchsetzter und ab 60 cm stark re-
duzierter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

Tabelle 2. Mittlerer jährlicher Höhenzuwachs (cm/Jahr) nach der Auspflanzung.

Jahr	Gley-Variante			
	<i>A schwach vernässt</i>	<i>B stark vernässt</i>	<i>C₀ Grabenrand ohne Aushub</i>	<i>C_m Grabenrand mit Aushub</i>
1977	3,8	3,0	2,3	3,8
1978	5,0	2,0	2,6	6,1
1979	5,9	1,7	2,1	7,5
1980	8,0	1,5	2,7	10,4
1981	15,0	1,8	5,4	15,0

Bodentypen:

A: fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley

B: anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

C₀: schwach anmooriger, mittelgründiger, aber mit Mull bis 40 cm Tiefe gut durchsetzter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 100 cm

C_m: unter Grabenaushub begrabener, bis 60 cm mit Mull durchsetzter und ab 60 cm stark reduzierter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

Tabelle 3. Benadelungsmerkmale und Häufigkeit der Beschädigung des primären Gipfeltriebes (mit oder ohne Neubildung aus Seitentrieben) im 6. Jahr nach der Auspflanzung. Prozentuale Häufigkeiten der Pflanzen mit dem jeweiligen Merkmal für jede Gley-Variante (A, B, C₀, C_m).

Merkmal	Gley-Variante			
	<i>A schwach vernässt</i>	<i>B stark vernässt</i>	<i>C₀ Grabenrand ohne Aushub</i>	<i>C_m Grabenrand mit Aushub</i>
<i>Nadelvergilbung</i>				
– deutlich	–	48	21	–
– schwach	19	37	38	13
– keine	81	15	41	87
<i>Nadellängen</i>				
– sehr kurz (< 9 mm)	4	81	48	–
– variabel	33	19	35	40
– normal lang (> 9 mm)	63	–	17	60
<i>Nadeljahrgänge</i>				
– 3	17	81	28	4
– 3 bis 4	13	6	21	4
– 4	29	13	24	36
– 4 bis 5	21	–	10	20
– 5	8	–	17	12
– 5 bis 6	12	–	–	4
<i>Gipfeltrieb</i>				
– verloren	19	59	33	7
– erhalten	81	41	67	93

Bodentypen:

A: fahler, mittelgründiger Mull-Hanggley

B: anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

- C₀: schwach anmooriger, mittelgründiger, aber mit Mull bis 40 cm Tiefe gut durchsetzter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 100 cm
- C_m: unter Grabenaushub begrabener, bis 60 cm mit Mull durchsetzter und ab 60 cm stark reduzierter Mull-Hanggley mit Karbonat ab 80 cm

getreten und dann im allgemeinen auf eine mechanische Ursache, vor allem Schneedruck, zurückzuführen.

Die an den Grabenrändern ohne Aushub (Gley-Variante C₀) stockenden Pflanzen standen bezüglich all dieser Merkmale bei breiter Streuung zwischen den beiden Extremen. Dieser im Vergleich zum hohen Vernässungsgrad der Gley-Variante C₀ (Abschnitt 5) relativ günstige Anwuchserfolg erklärt sich in erster Linie aus dem uneinheitlichen Abstand der Pflanzen vom Grabenrand (0,8 bis 1,2 m, vereinzelt auch weniger).

7. Diskussion und Folgerungen

Stellt man die in den vorhergehenden Abschnitten einzeln dargestellten Erhebungen über Böden, Wasserhaushalt und Aufforstungserfolg einander gegenüber, so sind folgende Punkte festzuhalten:

a) Als entscheidender Standortsfaktor für den Anwuchserfolg der Fichte ist auf den untersuchten Varianten von Hanggley-Böden der Vernässungsgrad, die Gründigkeit und die Durchlüftung in der obersten, 20 bis 30 cm mächtigen Zone (Zone mit (E)G₀/G₀,_(r)/A_hG₀/ oder A_h,_b-Varianten) des Hauptwurzelaumes anzusehen. Es ist dabei zweitrangig, aus welchem Material die Matrix dieser Zone besteht. Dies geht aus der drastischen Steigerung der Wuchskraft hervor, die sich auch auf den am stärksten vernässten Flächen allein durch die Aufschüttung einer knapp 20 cm mächtigen Grabenaushubsschicht erzielen lässt. Über die Mechanismen, über die der Sauerstoffmangel schliesslich zur Wuchshemmung und Schädigung der Pflanzen führt, lässt sich dabei im einzelnen wenig sagen. Es wurde beobachtet, dass die Nadelvergilbungen auf den Flächen mit neutraler Bodenreaktion im Mullhorizont im allgemeinen intensiver ausgeprägt waren als auf gleich stark vernässten Flächen mit schwach saurem pH im Mullhorizont. Dies wie auch die Symptome der beobachteten Chlorosen (gleichmässige, fahlgelbe Verfärbung) lassen vermuten, dass die Wirkung des Sauerstoffmangels im Hauptwurzelaum durch einen Mangel an pflanzenverfügbarem Eisen und/oder Mangan noch verschärft wurde (Zech, 1970; Kreutzer, 1972).

b) Wie weit sich durch ein Grabensystem eine flächenmässige Absenkung des Bodenwasserspiegels erreichen lässt, hängt von den Niederschlagsverhältnissen, der Hangneigung, der Wasserleitfähigkeit der Böden, der Tiefe der wasserundurchlässigen Schicht sowie vom gewählten Grabenabstand ab (Richard, 1973). Unter den hier angetroffenen Standortsbedingun-

gen wären nach der Entwässerungstheorie von Hooghoudt (Richard, 1973; Schuster, 1974) auf den stark vernässten Flächen (Gley-Variante B in *Abbildung 1*: anmooriger, mittelgründiger Mull-Hanggley, Wasserleitfähigkeit $k < 1$ cm/d, Tiefe der undurchlässigen Schicht etwa 0,5 m) Grabenabstände von weniger als 1 m erforderlich, um eine mittlere wasserspiegelfreie Tiefe von 20 cm zu gewährleisten. Abgesehen davon, dass damit noch keine ausreichende Bodendurchlüftung im entwässerten Bodenanteil garantiert ist, ist eine Grabendränage solcher Hanggley-Böden schon aus ökonomischen Gründen nicht möglich. Die demgegenüber umso positivere Wirkung des Grabenaushubs, auf die bereits Grünig (1955) hingewiesen hat, spricht in Übereinstimmung mit Schuster und Sommer (1973) hier für eine Entwässerung durch Pflügen ergänzt durch Interzeptionsgräben zum Auffangen des Oberflächenwassers.

c) Die vorliegenden Erhebungen zeigen, dass Pflanzen, insbesondere Fichten, in ihrer Wuchskraft auf den Vernässungsgrad eines Bodens sehr empfindlich reagieren. Dies zwingt bei Aufforstungsvorhaben zu detaillierten Bodenuntersuchungen. Eine gute Beurteilung der Bodendurchlüftung ist bereits durch die Ansprache der makromorphologischen Bodenmerkmale (Humusform, Oxidations- und Reduktionsfarben, Konkretionen, Gefüge usw.) möglich. Wie hier gezeigt wurde, kann die ökologische Interpretation dabei durch den Vergleich mit intensiver untersuchten, analogen Bodentypen — wie die von Richard, Lüscher und Strobel (1978 ff.) beschriebenen «Lokalformen» — wesentlich vertieft werden. Dies ermöglicht einem standortkundlich geschulten Forstingenieur, auch mit geringem technischem Aufwand zu einer umfassenderen und zuverlässigeren Standortsbeurteilung zu gelangen.

Résumé

Relations entre les possibilités d'assèchement de terrains humides, les caractéristiques macromorphologiques du sol et les résultats obtenus dans la mise à demeure de l'épicéa

L'effet d'un drainage par tranchées sur la croissance de l'épicéa, dans les premières années suivant la mise à demeure, fut étudié pour une plantation en zone de Flysch, dans le «Gaussmättli», en Haute-Singine fribourgeoise.

Les résultats permettent de conclure que la croissance des jeunes plantes est entravée si une zone d'une profondeur minimale de 0,2—0,3 m, située au-dessus de la nappe acquifère, se trouve inondée pendant une période prolongée. Ceci confirma la valeur de la méthode enseignée à l'EPFZ concernant le dimensionnement de l'espace-ment des tranchées dans les systèmes de drainage. Cette méthode basée sur la théorie de Hooghoudt conduit à des données réalistes. Dans les parties de la surface expéri-

mentale où les espacements théoriquement nécessaires avaient été dépassés, l'on pouvait constater un développement en général insuffisant sur les zones équidistantes des tranchées de drainage.

Pour des valeurs -K de perméabilité à l'eau inférieures à 1 cm/d, la densité de tranchées nécessaire n'est pratiquement plus réalisable. Des résultats satisfaisants dans la mise à demeure ne furent relevés dans de tels secteurs qu'à proximité immédiate de la tranchée et sur le déblai.

La mesure des caractéristiques physiques du sol n'est en général possible que de façon restreinte pour le praticien. Comme on le démontre dans cette étude, des estimations peuvent néanmoins aussi conduire à un jugement valable des propriétés physiques du sol. Ces estimations peuvent être obtenues en recourant à des analogies avec des sols macromorphologiquement comparables.

Traduction: E. Zürcher

Literatur

- Brühlhart, A. 1970: Die Aufforstungspolitik des Staates Freiburg im oberen Sensebezirk. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 121: 590—597.
- Ettlinger, P. 1976: Untersuchungen über den Erfolg früherer Flyschaufforstungen. Beih. z.d. Zeitschr. d. Schweiz. Forstvereins, 58, 118 S.
- Flühler, H. 1973: Sauerstoffdiffusion im Boden. Mitt. d. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchswes., 49: 23—250.
- Grünig, P. 1955: Über den Einfluss der Entwässerung auf die Flachmoorvegetation und auf den Zuwachs der Fichte und Bergföhre im Flyschgebiet der Voralpen. Diss. ETH Zürich Nr. 2445.
- Kreutzer, K. 1972: Die Wirkung des Manganmangels auf die Farbe, die Pigmente und den Gaswechsel von Fichtennadeln (*Picea abies* Karst.). Forstw. Cbl., 91: 80—98.
- Richard, F. 1973: Über die Durchlässigkeit und Entwässerbarkeit von Böden. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 124: 415—432.
- Richard, F. und Lüscher, P.: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Bd. 4. Hrsg.: Bosshard, W., Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchswes., Birmensdorf (in Vorbereitung).
- Richard, F., Lüscher, P. und Strobel, T. 1978: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Bd. 1. Hrsg.: Bosshard, W., Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.
- Schulin, R. 1982: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen makromorphologischen Bodenmerkmalen, Entwässerbarkeit und Aufforstungserfolg auf Nassböden, dargestellt an geeigneten Aufforstungen. Diplomarbeit, ETH Zürich.
- Schuster, Ch. 1974: Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Drainagegräben in natürlich gelager-tem Boden am Hang. Mitt. d. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchswes., 50: 1—83.
- Schuster, Ch. und Sommer, A. 1973: Untersuchungen über die Wirkungsweise maschineller Entwässerungsmassnahmen auf einem ausgewählten Standort im Flyschgebiet. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, 124: 474—482.
- Uttinger, H. 1964: Klimatologie der Schweiz. MZA Zürich.
- Zech, W. 1970: Besonderheiten im Ernährungszustand chlorotischer Fichten auf kalkreichen Böden. Forstw. Cbl., 89: 1—9.

