

Wirksame Waldbodenmelioration oder weitermachen wie bisher?

Von Hubert Schulte-Karring, Bad Neuenahr *)

Das Ökosystem der Waldböden muß erhalten bleiben und schließt deshalb eine grundlegende Veränderung durch meliorative Maßnahmen aus, so lautet überwiegend die Meinung derjenigen, die für die Waldbewirtschaftung verantwortlich sind. Mit Zunahme der Waldschäden dagegen wird dieser Standpunkt mehr und mehr angezweifelt. Die Waldböden sind inzwischen so erschöpft, daß vor der Wiederaufforstung eine totale Sanierung unter Inkaufnahme kalkulierbarer Risiken notwendig ist, so lautet die Meinung der anderen.

Die Bundesregierung hat während der vergangenen Jahre vielfältige Anstrengungen unternommen, um die Schadstoffbelastung der Luft zu reduzieren. Die zunehmend negativen Zahlen der jährlichen Waldschadensberichte zeigen jedoch, daß mit diesen Maßnahmen allein keine Besserung herbeizuführen ist. Der Wald wird also weiter sterben, wenn nicht auch von anderer Seite etwas Grundlegendes geschieht. Die andere Seite sind die Waldbewirtschaftler selbst, die zunächst einsehen müssen, daß das Dilemma des Waldsterbens ja nicht allein durch die neuere Schadstoffbelastung der Luft entstand, sondern dadurch, daß ein Großteil der Böden bereits zuvor einen desolaten Zustand aufwies und die Einwirkung der Schadstoffe vielfach nur noch Auslöser des Waldsterbens waren.

Während die Beseitigung gravierender Bodenmängel im Landbau schon immer eine Selbstverständlichkeit war und mit staatlicher Hilfe im Rahmen von Flur-

bereinigungsverfahren, wasserwirtschaftlichen Projekten oder auch von privater Seite aus mit wirksamen Meliorationsmaßnahmen ausgeräumt wurden, geschah bisher bei den Waldböden vergleichsweise nichts. Der Wald wuchs ja recht und schlecht auch so und weil schlechte Jahre weniger deutlich ins Auge fielen als das bei den einjährigen Nutzpflanzen der Fall war, schien die Dringlichkeit der Bodenverbesserung nicht so sehr gegeben.

Der Zustand vieler Waldböden ist inzwischen jedoch durch Altlasten und neuere Schadstoffeinwirkung derart erschöpft, daß aus boden- und pflanzenbaukundlicher Sicht viele der z.Zt. vorgenommenen Wiederaufforstungen die Nutzholzreife nicht erreichen werden.

Es drängt sich die Frage auf, welche Produktionsleistung die Extremfälle wie beispielsweise die weitverbreiteten und von den Sturmschäden besonders heimgesuchten Staunässeböden für das Nutzholz überhaupt noch besitzen (10) (Abb. 2)? Die Schwierigkeiten zeigen sich vielfach schon bei den Wiederbegründungen dieser Flächen. Die bodenständige Flora mit wesentlich geringeren Ansprüchen tritt mehr und mehr als Konkur-

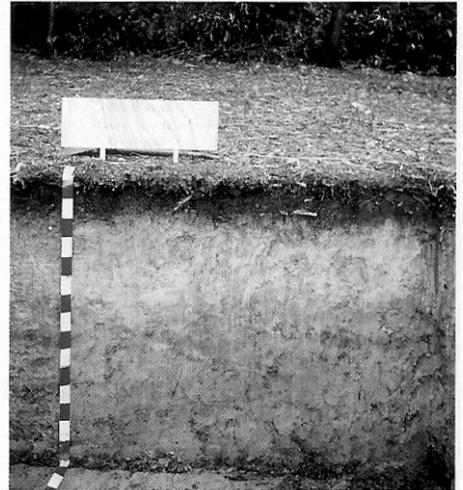


Abb. 2: Pseudogley mit hochanstehendem Staukörper. Die flachgründigen, meist sauren Pseudogleye sind weitverbreitete Waldstandorte. Schnell auftretende Staunässe und baldiges Austrocknen sind die Folgen des mangelhaften Speichervermögens. Der hohe Eindringwiderstand und der Sauerstoffmangel verhindern zudem ein tieferes Wurzelwachstum. Durch die Schadstoffkontamination besitzen die Staunässeböden inzwischen ein so geringes Produktionsvermögen, daß Bestandsbegründungen ohne vorangegangene gründliche Bodensanierungsmaßnahmen sinnlos erscheinen.

rent auf (Abb.1) und da, wo es dann mit viel Mühe und Kosten (Nachbesserungen!) gelungen ist, den Jungbestand zu schließen, wird die Grenze der Produktionsleistung mit zunehmendem Alter und folglich größer werdenden Ansprüchen bald erreicht sein. Die sehr viel früher als bisher eintretenden Schäden würden dann nach einigen Jahren oder Jahrzehnten zwar zur verspäteten Einsicht führen, doch bis dahin enorm hohe und unsinnige Kosten verursacht haben. Man sollte sich vernünftigerweise schon jetzt darüber im klaren sein, daß auch die Waldbäume den Wachstumsgesetzen unterworfen sind und nur dann nachhaltig gesund gedeihen können, wenn die Hauptwachstumsfaktoren in ausreichendem und günstigem Maße zur Verfügung stehen.

Das Vorhaben, die Waldschäden einzudämmen und einen gesunden Wald aufzubauen, kann nur dann gelingen, wenn die betroffenen Standorte, flankierend zu



Abb. 1: Die Wiederaufforstungen meliorationsbedürftiger Flächen werden durch die Konkurrenz der bodenständigen Flora immer schwieriger. Z.T. gehen die mehrmals nachgebesserten Kulturen restlos unter.

*) Dr. H. Schulte-Karring ist Mitarbeiter der rheinland-pfälzischen Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau und befaßt sich seit mehr als 3 Jahrzehnten mit der Melioration kranker Böden. Er ist Befürworter der totalen Waldbodensanierung.

den Maßnahmen der Umweltbehörde, einer gründlichen Melioration unterworfen werden.

Der Verfasser befaßt sich seit langem mit der Melioration unterschiedlichster Böden. Die Einsätze erfolgten zunächst im Landbau, wo es in den 60er Jahren darum ging, das für die Melioration der verdichteten Böden übliche Verfahren der Rohrdränung abzuschaffen und durch ein neues, das "Ahrweiler-Meliorationsverfahren"

zu ersetzen (5). Dann erfolgten die Einsätze in den langlebigen Kulturen des Wein-, Obst-, Hopfen- und Spargelbaus, wo es einer wirksameren Bodenvorbereitung vor der Anpflanzung bedurfte (6) und schließlich erfolgten die Einsätze auch im Waldbau. Zum Schwerpunkt der Arbeiten gehörte die Entwicklung leistungsfähiger Meliorationsgeräte, deren neueste Technik nunmehr auch im Wald verwendet werden kann (7).



Abb. 3 (links): Die Kronfräse, fachgerecht eingesetzt, erfüllt die Forderungen, die an die Melioration der Humusaufgabe gestellt werden, in idealer Weise. In vielen Fällen ist sie Wegbereiter für das Ahrweiler Meliorationsverfahren.

Abb. 4 (rechts): Mit der 80 cm tiefen Abbruchlockerung und Tiefdüngung wird der Lebensraum der Bäume vergrößert und der Unterboden zur Verhinderung von Schwermetallauswaschungen mit Kalk angereichert (Einsatz vor der erfolgreichen maschinellen Bestockung einer Problemfläche des Forstamtes Ottobeuren im Jahre 1991).



Abb. 5 (links): Konventionell - ohne Bodensanierung. Eine Vielzahl von Pflanzen ist von der bodenständigen Flora erdrückt worden. Nur im Hintergrund sind einige Pflanzenreihen erkennbar.

Abb. 6 (rechts): Nach totaler Bodensanierung. Die aus demselben Pflanzenbeet stammenden Eichen zeigen nach gründlicher Bodenvorbereitung ein gesundes Wachstum. Freistellungen erübrigen sich. Der geringe Wuchs der bodenständigen Flora ist ein Beweis für das Ausbleiben des befürchteten Nitratstoßes.



Abb. 7: Das Kornstück des Ahrweiler Verfahrens ist eine Gefügeveränderung des dichten Unterbodens. Nach einer mechanischen Intensivauflöckerung entsteht durch Zerfall der dichten Aggregate ein lockeres, belüftetes, leicht durchwurzelbares und speicherfähiges Bodengefüge.

Die meliorationsbedürftigen Waldböden, ihre Mängel und Sanierungserfordernisse

Die Humusaufgabe

In der Regel besitzt die ca. 5 - 15 cm mächtige und je nach Baumbestand unterschiedlich wertvolle bzw. minderwertige Humusaufgabe der meliorationsbedürftigen Böden sehr niedrige pH-Werte von pH 3 bis 4 und je nach Standort unterschiedlich starke Schwermetallgehalte.

Das Meliorationsziel ist eine grundlegende Erneuerung durch eine gleichmäßige und flache Einarbeitung aller auf der Oberfläche vorhandenen und für die Humusbildung in Frage kommenden Pflanzen und Holzteile und deren gleichzeitige Vermischung mit Kalk und Nährstoffen (3) zur Verhinderung von Schwermetallauswaschungen und zur Bildung einer wertvolleren Humusform.

Außerdem soll der humose Oberbodenhorizont bis in 30 cm vertieft werden und zwar zur

- Beseitigung der Kopffastigkeit des Standortes,
- Vertiefung des Wurzelwachstums sowie
- Bildung von stabileren Ton-Humus-Verbindungen bei Böden mit entsprechendem Feinerdegehalt.

Der Unterboden

Die meliorationsbedürftigen Waldböden lagern zur Tiefe hin entweder dicht und besitzen niedrige pH-Werte oder aber es handelt sich um durchlässige Böden mit ebenfalls niedrigen pH-Werten.

Das Meliorationsziel ist in beiden Fällen eine Vergrößerung des Lebensraumes, d.h. Verbesserung der Nährstoff- und Sauerstoffversorgung, der Wasserspeicherkapazität und der Durchwurzelbarkeit bis zu einer Tiefe von mindestens 80 cm nach dem Ahrweiler Verfahren (Abb. 7).

Desweiteren soll die Nährstoffversorgung verbessert (3) und der pH-Wert mit Hilfe tiefeingebrachter und gut verteilter Kalkmengen zur Verhinderung von Schwermetallauswaschungen angehoben werden (Abb. 6 und 7).

Ähnliche Meliorationsziele wurden in der Vergangenheit bereits mit vereinzelt durchgeführten tiefgreifenden Maßnahmen verfolgt (8, 9). Die neue Technik des Ahrweiler Verfahrens erscheint jedoch in Durchführung und Auswirkung des Meliorationsvorhabens wesentlich günstiger.

Die Technik des Ahrweiler Meliorationsverfahrens für Direktzuglagen

1. Teilflächen mit Schlagabraum

(nach Sturmwurf, Kahlschlag, Waldbrand, Buschwald u.a.)

Die Melioration der Humusaufgabe

Die o.a. Meliorationsziele werden mit der Krohnfräse in idealer Weise erreicht (Abb. 3). Es kann aber nicht deutlich genug davor gewarnt werden, diese 30 t schwere Maschine falsch einzusetzen. So wäre es beispielsweise im Falle der verdichteten Böden (Stauäseeböden) falsch, nur zu fräsen und den verdichteten Unterboden unberücksichtigt zu lassen. Die Melioration der Humusaufgabe würde in der Stauäse verkümmern, wenn nicht auch der Wasserhaushalt, d.h. das Wasserspeichervermögen, die Belüftung und Belebung sowie Durchwurzelbarkeit des tiefen Bodens mit Hilfe einer mechanischen Auflockerung verbessert würde.

Auch vor dem Fräsen saurer Böden ohne Kalkdüngung wird gewarnt. Das trotzdem bestechend gute Wachstum der Jungkulturen darf nicht zu der Annahme führen, daß der ungekalkte Standort bei weiterer Schadstoffeinwirkung unbedingt leistungsfähig bleibt.

Die Humusaufgabe wird fachgerecht in folgender Weise verbessert:

Arbeitsgang 1: grobes Fräsen in unterschiedlicher Tiefe (Stubbenfräsen),

Arbeitsgang 2: Düngen mit Großflächenstreuer,

Arbeitsgang 3: feines Fräsen zur gleichmäßigen Vertiefung der humosen Schicht der weiteren Wurzelzerkleinerung und der intensiven Vermischung des Düngers (Kalk u. Nährstoffe).

Um der Gefahr von Nitratverlust zu begegnen und um das neugeschaffene Gefüge biologisch zu stabilisieren, sollte eine Gründüngung eingesät werden (4). Diese Maßnahme könnte, falls notwendig, auch nach der Bestockung wiederholt werden.

Die so durchgeführte Krumenmelioration besitzt nicht nur die bereits erwähnten Vorteile der besseren Humusbildung und tieferen Durchwurzelbarkeit, sondern das Fräsen beseitigt auch einen Großteil der langlebigen Konkurrenzflora und dient außerdem der Wegbereitung für nun mögliche Nachfolgemeliorationen. Unterlassene oder notwendig werdende Maßnahmen, wie Gefüge- oder Nährstoffmeliorationen können nunmehr auch Jahrzehnte später noch im Direktzug durchgeführt werden.

Die Melioration des Unterbodens

Für die 80 cm tiefe Auflockerung und Düngung (Kalkung) sind die Abbruchlockerungsgeräte "MM 50" u. "MM 100" entwickelt worden. Voraussetzung für den Einsatz der Geräte ist die Befahrbarkeit der Flächen (Abb. 4).

2. Freiflächen nach Räumung

a) nach Vollräumung (mit Stubben)

Der Einsatz der Abbruchlockerungs- und Tiefdüngungstechnik ist auch ohne vorherigen Einsatz der Krohnfräse in vollem Umfang möglich, wenn zuvor eine Vollräumung erfolgte. (Die Wegnahme der wertvollen Biomasse wird jedoch als Fehler angesehen.)

b) nach Teilräumung (ohne Stubben)

Bei Verbleiben größerer Stubben ist der Einsatz der Abbruchlockerungsgeräte aus naheliegenden Gründen nur teilweise möglich. Wurzelstöcke von Beständen bis zu einem Alter von bis zu ca. 30 Jahren bieten jedoch kein Hindernis.

Bei Windwurf ist der Einsatz wegen der Nichtbefahrbarkeit der teilgeräumten Fläche in den meisten Fällen nicht gegeben.

3. Altholz

Die einstechende und ausziehende Arbeitsweise der Abbruchlockerungsgeräte schließt Verstopfungen aus und ist mit ihrer wurzelschonenden Arbeitsweise auch im Altholz einsetzbar. Wurzelbeschädigungen geben im lockeren Boden grundsätzlich den Anreiz zur Bildung junger,

leistungsfähiger Wurzeln (Wurzelverjüngung). Ähnliche Untersuchungsergebnisse wurden ebenso bei Reben und bei Obstbäumen wie auch bei den einjährigen Kulturpflanzen gefunden. Sicherlich reagieren auch die Waldbäume nicht anders. Bei Fichten wurde die Annahme bereits bestätigt.

Der Einsatz in den Beständen sollte jedoch rücksichtsvoll, d.h. nicht zu dicht an den Bäumen und zunächst nur an einer Seite der Bäume erfolgen.

4. Ehemalige Ackerböden

Nach der Agrarplanung in den neuen Bundesländern sollen vor allem große Gebiete ehemaliger Ackerböden aufgeforstet werden. Abgesehen von den verdichteten oder verhärteten Störschichten (Ortstein u.a.), die vornehmlich in den leichteren Böden Norddeutschlands vorkommen, besitzt jeder Ackerboden eine Pflugsohle, die den jungen Pflanzenwurzeln wegen des großen mechanischen Widerstandes erhebliche Schwierigkeiten bereitet.

Es wäre für das zukünftige Gedeihen der Wälder auf diesen Standorten ein großes Versäumnis, wenn die einmalige Gelegenheit nicht genutzt wird, die Wachstumshindernisse vor der Anpflanzung in einfacher Weise auszuräumen.

Die Erhaltung der Meliorationswirkung

Auf die Frage nach der Wirkungsdauer der mechanischen Tieflockerung kann nach jahrzehntelangen wissenschaftlichen Untersuchungen und praktischen Erfahrungen eine klare Antwort gegeben werden.

Für die Erhaltung spielt die Leistungsfähigkeit des Gerätes (Auflockerungsintensität), der fachgerechte Einsatz (Arbeitstiefe, Arbeitsbreite sowie der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens) und im Ackerbau die nachfolgende Behandlung (mechanischer Druck der bearbeitenden Maschinen) eine entscheidende Rolle.

Die Bodenart wirkt sich weniger als ursprünglich angenommen auf die Erhaltung der Auflockerung aus. In keinem Fall versagte die fachgerecht durchgeführte Tieflockerung; auch bei den schluffreichen Böden nicht. Neuverdichtungen entstanden allerdings im oberen Unterboden, vornehmlich durch den in der Furche fahrenden, pflügenden Traktor. Diese Verdichtungen treten um so schneller ein, je weniger Zeit dem Boden zur Stabilisierung des neuen Gefüges zur Verfügung steht. Der Anbau von mehrjährigen Kulturen, wie Luzerne oder Klee gras u.a., wurde deshalb empfohlen. Die vor nunmehr 31

Jahren durchgeführten, damals nur max. 65 cm tiefen Lockerungen sind im Bereich unterhalb von ca. 40 cm jedoch selbst in den nicht schonend bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen noch sehr gut erhalten (Tab. 1). Auch die Ergebnisse der diesjährigen bodenphysikalischen Untersuchungen haben das wieder eindeutig bewiesen.

In den langlebigen Kulturen, wie im Wein-, Obst-, Spargel und Hopfenanbau, wurde eine vergleichsweise wesentlich bessere Erhaltung der Meliorationswirkung festgestellt. Naheliegenderweise traten schadhafte Rückverdichtungen hier nur in den Fahrspuren auf (6).

Die Ergebnisse der seit mehr als 30 Jahren vorgenommenen bodenphysikalischen, chemischen und mikrobiologischen (2, 11) Laboruntersuchungen, die Erfolge der allein in Rheinland-Pfalz in mehr als 300 Flurbereinigungsprojekten stattgefundenen großflächigen Bodenmeliorationen, u.a. die Umstellung der Bodenvorbereitung vor der Anpflanzung langlebiger Gewächse (Wein, Obst, Spargel, Hopfen u.a.) vom Wenden zum Tieflockern sind sichere Beweise dafür, daß das Ahrweiler Verfahren mit einer fachgerecht durchgeführten Gefügemelioration eine dauerhafte Meliorationswirkung besitzt. Was nun den Einsatz im Waldbau angeht, so sind die Voraussetzungen, die flachgründigen dichten Böden auf Dauer zu leistungsfähigen Böden, d.h. tiefgründigen, belüfteten und belebten sowie leicht durchwurzelbaren und vor allem speicherfähigen Böden umzugestalten, günstiger als in allen anderen Bereichen. Jede gegenteilige Annahme und Warnung vor

der Möglichkeit des Mißlingens wäre absurd und würde das dringend notwendige Handeln zu Lasten des Waldes nur verzögern. Jetzt noch die Ergebnisse langjähriger wissenschaftlicher Versuche abzuwarten und bis dahin so weitermachen wie bisher, wäre in Anbetracht des zunehmenden Waldsterbens unverantwortlich. Man sollte vielmehr sofort handeln, die Blockierung der Bodensanierung durch konventionelle Wiederaufforstungen wenigstens bei den extrem meliorationsbedürftigen Standorten einstellen und anstelle der Bezuschussung wenig sinnvoller Maßnahmen Gelder für wirksame und von Fachleuten überwachte Standortsanierungen bereitstellen.

Die Kosten der totalen Waldbodenmelioration

am Beispiel der Wiederaufforstung von Sturmwurfflächen.

Die Kosten für

- Fräsen (2 x) 3.000 - 5.000 DM/ha
 - Tieflockern u. -düngen 1.000 - 1.500 DM/ha
 - Mineraldünger je nach Art und Menge
- werden reduziert durch :
- Wegfall von Räumkosten,
 - geringere Pflanzkosten (geringere Pflanzenzahl - maschinell durchführbar),
 - Wegfall bzw. Vereinfachung der Jungkulturlpflege,
 - Wegfall von Nachbesserungen (auch in trockenen Jahren 1991!),
 - Wegfall bzw. Verringerung des Verbißschutzes,
 - Wegfall der Kompensationskalkung.

Der Kostenvergleich zeigt, daß sich die höheren Anfangskosten sehr bald durch Einsparungen wieder ausgleichen können. Viel wichtiger aber ist die Tatsache, daß mit dem meliorativen Wiederaufforstungsverfahren vom Boden her die Voraussetzung für ein nachhaltig gesundes Pflanzenwachstum geschaffen wurde. Außerdem ist der Gefahr der Schwermetallkontamination des Grundwassers entgegengearbeitet worden.

Schlußfolgerung

Die hier gegebene Schilderung der Standortmängel und die Vorschläge zu deren wirksamer Beseitigung mögen Anlaß zu konstruktivem Handeln geben, um flankierend zu den Anstrengungen des Umweltministeriums den Trend des zunehmenden Waldsterbens aufzuhalten.

Dank langjähriger wissenschaftlicher Untersuchungen, praktischer Erfahrungen und technischer Entwicklungen ist in den Bereichen des Landbaus bereits eine Menge Vorarbeit für eine sichere und dauerhafte Sanierung der Waldböden geleistet worden. Es gilt sie jetzt anzuwenden.

Dem Steuerzahler gegenüber, dem sehr viel an der Erhaltung des Waldes gelegen ist, und der bereit ist, für die Rettung des Waldes tief in die Tasche zu greifen, besteht die moralische Pflicht, die bodenkundlich längst fälligen Maßnahmen für die Erhaltung und den Neuaufbau des Waldes durchzuführen.

Die Zeit drängt - der Nachholbedarf ist groß. Es darf nicht so weitergemacht werden wie bisher!

Tab. 1: Bodenphysikalische Untersuchungsergebnisse von Graulehm-Pseudogleyen, 60 cm tief gelockert, 20 Jahre nach der Versuchsanlage

Versuch I - V	Gesamt-Porenvolumen				Poren > 50 µm				Wasserdurchlässigkeit				Infiltration mm/sec
	10-15 cm	35-40 cm*	55-60 cm	75-80 cm	0-15 cm	35-40 cm*	55-60 cm	75-80 cm	0-15 cm	35-40 cm*	55-60 cm	75-80 cm	
I ungel. gel.	52,8	43,0 43,2	39,4 43,6	38,3 40,6	9,1	7,1 11,4	4,6 7,5	4,9 4,8	170,0	4,8 15,0	8,6 50,0	2,5 0,4	0,02 0,18
II ungel. gel.	46,6	40,7 44,1	42,8 46,4	42,8 39,4	8,1	5,4 5,2	4,1 6,9	5,9 5,0	4,7	17,0 0,6	0,5 24,0	0,1 0,1	0,02 0,02
III ungel. gel.	49,1	47,3 47,9	44,3 48,8	39,5 41,6	14,8	9,3 12,7	7,5 11,6	5,3 5,9	220,0	8,3 54,0	2,3 47,0	0,5 0,1	0,03 0,11
IV ungel. gel.	42,5	44,9 47,8	42,7 50,5	40,1 40,4	5,8	9,9 13,4	8,5 13,6	5,1 6,5	30,0	6,0 19,0	6,8 120,0	0,1 5,1	0,03 0,09
V ungel. gel.	43,6	46,3 47,4	45,7 50,5	43,0 44,6	8,4	10,4 9,3	9,7 10,8	6,2 7,4	33,0	35,0 3,1	3,7 130,0	0,2 1,8	0,09 0,02

GD 5 % Orte, Lockerungen, Tiefen = 3,4 Orte, Lockerungen, Tiefen = 3,9
* im Pflugschleppbereich

Literaturhinweise:

- 1) ANON. 1990: Ahrweiler Meliorationsverfahren - Bodenverbesserung durch Tiefenlockerung, AFZ 9-10, S. 233.
- 2) FRANZ G. und E. MÜCKENHAUSEN, 1975: Der Einfluß der Tieflockerung auf die Bodenorganismen und Beständigkeit dieser Meliorationsmaßnahme - Mitteilg. d. Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft, Band 12: S. 176-178.
- 3) GUSSONE, H.A. 1983: Die Praxis der Kalkung im Walde der Bundesrepublik Deutschland. Forst- und Holzwirt 3 S. 63-71.
- 4) HETSCH, W., W. KRAMER u. W. WESSELS 1981: Bodenkundliche und waldbauliche Auswirkungen einer kombinierten Meliorationsmaßnahme im Forstamt Syke. Forst und Holzwirt Nr. 36, S. 548 - 553.
- 5) SCHULTE-KARRING, H. 1963: Drainage oder Untergrundlockerung? Mitteilg. d. DLG Heft 45 S. 1119 - 1122.
- 6) SCHULTE-KARRING, H. 1985: Die Gefügemelioration durch Tieflockerung - Einsatz und Auswirkung des Ahrweiler Meliorationsverfahrens in verdichteten Böden unter besonderer Berücksichtigung des Gemüse-, Obst- und Weinbaus. DVWK-Schrift 70, Teil IV.
- 7) SCHULTE-KARRING, H. 1987: 150 Jahre Technik der Tieflockerung, Broschüre 60 S.
- 8) ULRICH, B., WACHTER, H., 1971: Bodenkundliche Gesichtspunkte zur Frage der Bodenbearbeitung im Wald. AFZ S. 257 - 265.
- 9) ULRICH, B., 1986: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben - Langfristige Konsequenzen und forstl. Möglichkeiten. Forstwirtsch. Cbl Nr. 105, S. 421-435.
- 10) WEIDENBACH, P. 1991: Walderneuerung auf Sturmwurfflächen. AFZ Nr. 5, S. 216-220.
- 11) WOLF-STRaub, R., 1968: Mikrobiologische Ergebnisse von drei Ahrweiler Tieflockerungs- und Tiefdüngungsversuchen - Symposium über Tiefbearbeitung Tagungsbericht Gießen S. 157 - 160.