

Aus der Sektion Pflanzenproduktion der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Lehrstuhl Landwirtschaftliche Meliorationen

Zur Problematik des Phosphoreintrages in Trinkwassertalsperren unter besonderer Berücksichtigung von Untersuchungen im Gebiet der Osthartzalsperren

Von

Erhard Beuschold, Klaus Dörter und Uwe Wegener

Mit 4 Abbildungen und 4 Tabellen

(Eingegangen am 29. Januar 1974)

Inhalt

1. Die Herkunft des Phosphors als eutrophierendes Element in den Bodetalsperren	185
2. Charakteristik des Untersuchungsgebietes	189
3. Versuchsmethodik	190
4. Untersuchungsergebnisse	193
4.1. Phosphorabtrag durch Beregnungswasser	194
4.2. Phosphorabtrag durch Niederschlagswasser	195
4.3. Phosphorabtrag durch Schmelzwasser	195
4.4. Vergleichende Betrachtung des Phosphorabtrages durch Beregnungs-, Niederschlags- und Schmelzwasser	196
5. Einige Schlußfolgerungen für die sozialistische Landwirtschaft und die Wasserwirtschaft	197
5.1. Verminderung des Phosphorabtrages in der Vegetationszeit	197
5.2. Verminderung des Phosphorabtrages außerhalb der Vegetationszeit	198
5.3. Die Bedeutung von Wiesenschutzstreifen	198
6. Zusammenfassung	198
Schrifttum	199

1. Die Herkunft des Phosphors als eutrophierendes Element in den Bodetalsperren

Die folgenden Ausführungen behandeln einen Teil umfangreicher Untersuchungen, die im Einzugsgebiet der Osthartzalsperren (Abb. 1) im Rahmen eines Forschungsauftrages vom Lehrstuhl Landwirtschaftliche Meliorationen der Sektion Pflanzenproduktion an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und dem Zentrallabor des VEB Fernwasserversorgung Elbaue – Ostharz in den Jahren 1966 bis 1971 gemeinsam durchgeführt worden sind. Diese Forschung mit der Thematik „Vorschläge für die landwirtschaftliche Nutzung in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren unter besonderer Berücksichtigung der Wirkungsweise von Wiesenschutzstreifen“ (Anonym 1971) erfolgte im Auftrag des Institutes für Wasserwirtschaft Berlin und hatte das Ziel, geeignete Wege der Verminderung des Phosphor- und Stickstoffabtrages von den landwirtschaftlichen Nutzflächen in die Talsperrenzuflüsse zu ermitteln.

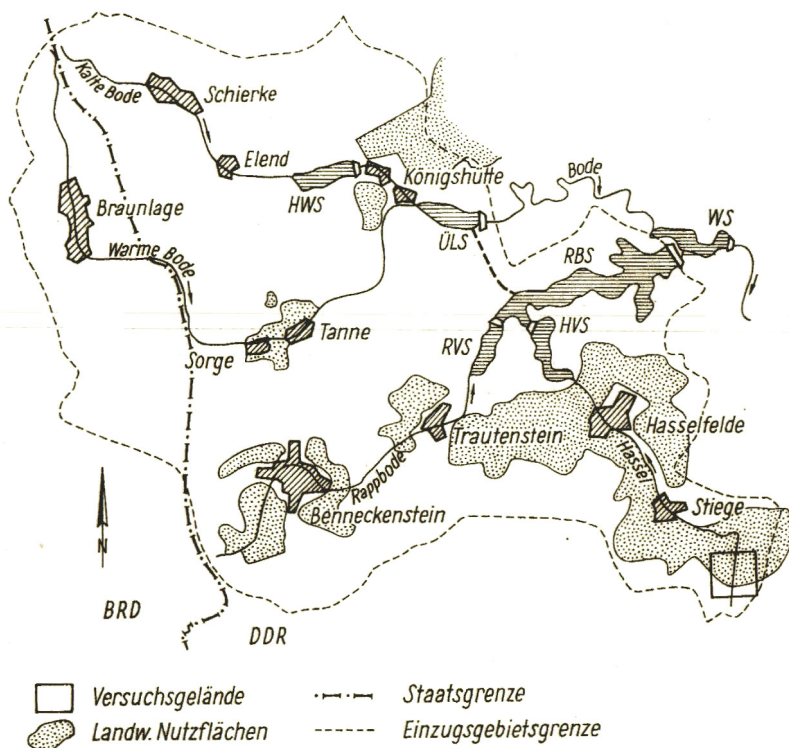


Abb. 1. Die Rappbodeltalsperre und ihr Einzugsgebiet (schematisch)

Abkürzungen:

RBS = Rappbode-Talsperre
 RVS = Rappbode-Vorsperre
 HVS = Hassel-Vorsperre

HWS = Hochwasserschutzbecken
 ÜLS = Überleitungssperre
 WS = Wendefurth-Sperre

Die dabei eintretende Eutrophierung bezieht sich im wesentlichen auf die Steigerung der Primärproduktion von Planktonalgen im Wasser. Bei erhöhtem Grad der Eutrophierung kommt es zur Plankton-Massenentwicklung, auch „Wasserblüte“ genannt, und den daraus resultierenden nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit. Hierzu sind unter anderem der Sauerstoffschwund und als Folge davon die Anreicherung von Eisen- und Manganverbindungen im Tiefenwasser der Talsperren zu rechnen. Auch die von Algen ausgeschiedenen warmlütertotoxischen organischen Gifte und organischen Substanzen von zum Teil noch unbekannter Konfiguration, die zu starken Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen des Wasser führen, gehören hierzu. Diese Erscheinung tritt zum Beispiel regelmäßig in der direkt für die Trinkwassergewinnung genutzten Rappbodevorsperre (Abb. 1) auf. In der Rappbodeltalsperre ist während des Frühjahrsmaximums der Kieselalge *Asterionella formosa* eine Biomasse von 30 bis 40 dt/ha Seeoberfläche, bezogen auf die oberen 10 m Wassertiefe, festgestellt worden.

Auf Grund der hohen Vermehrungs- und Absinkraten der Planktondiatomeen beträgt deren Biomasseproduktion im Verlauf eines Planktonmaximums das Mehrfache

der genannten Biomasse von *Asterionella formosa*. Als Folge dieser Algenentwicklung und ihrer außerordentlich starken Jahresdynamik schwanken in der Trinkwasseraufbereitungsanlage Wienrode der Rappbodetalsperre die möglichen Laufzeiten der Schnellfilter zwischen 50 und 2000 Stunden. Auch Fälle des zeitweisen Ausfalls von Wasserwerken auf Grund einer zu starken Filterverstopfung durch Planktonalgen sind bekannt geworden. Die moderne Wasseraufbereitungstechnik bietet heute zwar Verfahren an, die auch die Aufbereitung eines sehr stark planktonhaltigen Wassers ermöglichen. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß über die Wirkung der Aufbereitungsmaßnahmen der von den Algen abgeschiedenen organischen Stoffe noch große Wissenslücken bestehen. Außerdem ist eine Aufbereitung stark planktonhaltigen Wassers sehr kostenaufwendig. Aus hygienischen und ökonomischen Gründen wird deshalb häufig bei der Wasserversorgung aus Seen und Talsperren versucht, einen Kompromiß zwischen dem Ausschalten der Ursachen und der nachträglichen Beseitigung der Folgen der Eutrophierung zu finden.

Als meist alleinige Ursache kann bei Talsperren der Mittelgebirge die erhöhte Zufuhr von Phosphor aus dem jeweiligen Einzugsgebiet angesehen werden.

Um über die Möglichkeit und den Umfang von Sanierungsmaßnahmen zur Einschränkung der Phosphorzufuhr in eine Talsperre entscheiden zu können, müssen quantifizierte Angaben über den Anteil des Phosphors verschiedener Herkunft an der Gesamtphosphorfracht im Einzugsgebiet erarbeitet werden.

Sehr gründlich wurden diese Beziehungen von Bernhardt (1967, 1968, 1972) für das Einzugsgebiet der Wahnbachtalsperre untersucht. Praxisbezogene Berichte über die Herkunft eutrophierender Nährstoffe finden sich bei Ambühl (1966), Bucksteeg (1966), Ohle (1965) und Pöpel (1966).

An einigen Erzgebirgs-Talsperren, vor allem an der Saidenbachtalsperre, wurden von Wetzel (1962) und Uhlmann (1961, 1968) sowie Benndorf (1968), Beuschold (1961), Hofmann (1971), Höhne (1965, 1970), Klapper (1957) und anderen umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Die genannten Autoren befaßten sich hauptsächlich mit den Wechselbeziehungen zwischen den zugeführten Nährstoffen sowie der Bioproduktion und der Wasserbeschaffenheit in diesen Talsperren. Arnold (1968) beobachtete in einem Teileinzugsgebiet der Saidenbachtalsperre den Phosphor- und Stickstoffeintrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen in das Gewässer. Alle diese Untersuchungen dienten dem Ziel, die Vielfalt der Vorgänge und Zusammenhänge zu einem Gesamtbild des Eutrophierungsprozesses zu verdichten. Dadurch sollten algorithmierbare Modelle für die Prognose der Wasserbeschaffenheit künftiger Talsperren und die Beurteilung der Notwendigkeit und des Nutzeffektes von Sanierungsmaßnahmen zur Verhinderung einer übermäßigen Eutrophierung erarbeitet werden.

Um zu allgemeingültigen Aussagen zu kommen, ist zunächst ein möglichst umfangreiches Spektrum geographischer, hydrologischer, meteorologischer und limnologischer Bedingungen in verschiedenen Talsperreneinzugsgebieten mit unterschiedlicher Besiedlung und Bodennutzung zu erfassen. Unter diesen Gesichtspunkten sind von Beuschold (1966) die einzelnen Speicherbecken des Systems der Osthartzalsperren mit der Rappbodetalsperre als Hauptspeicher von Staubeginn an untersucht worden. Gleichzeitig wurde auch der Beschaffenheit des Wassers in den Zuflüssen und dem Einfluß der Abwassereinleitung aus den Ortschaften in die Vorfluter des Einzugsgebietes Beachtung geschenkt.

Sowohl im Ostharz als auch im Erzgebirge fehlten zur Vertiefung der Kenntnisse über die Herkunft der im Einzugsgebiet anfallenden Phosphor- und Stickstoffverbindungen noch detaillierte Angaben über den Nährstoffabtrag von unterschiedlich genutzten Flächen, wie intensives und extensives Grünland, Ackerland und Wald, sowie über den natürlichen, ohne die landwirtschaftliche Nutzung erfolgenden Abtrag.

Es war deshalb auch Anliegen des bereits genannten Forschungsauftrages, mit zur Klärung dieser Frage beizutragen. In der Folge werden einige Untersuchungen dargestellt, die sich vor allem mit den Phosphorkonzentrationen im Abfluß von Ackerland- und Grünland-Versuchsparzellen unter dem Einfluß von natürlichem Niederschlag, künstlicher Beregnung und Schneemelze befassen. Ergänzend zu diesen Parzellenversuchen wurden auch die Zuflüsse zur Hassel, ferner Dräns, Übergangsmoore, Druckwasserstellen und Wasserfassungen untersucht, wobei die Jahresabgabe an Phosphor (P) und anorganisch gebundenem Stickstoff (N) von unterschiedlich bewirtschafteten Flächen ermittelt werden konnte (Anonym 1971, Nitzsche 1973, Wegener 1972).

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse über den Flächenabtrag an Phosphor und Ergebnissen früherer Untersuchungen über den Einfluß der Ortsabwässer und über die Wirkung der Vorsperren errechnete Beuschold (1972) die bei mittleren hydrologischen Verhältnissen aus dem gesamten Einzugsgebiet in die Rappbodetalsperre gelangende Phosphor-Jahresfracht sowie den v. H.-Anteil der verschiedenen Flächennutzungsarten und der Ortsabwässer an dieser Frachtmenge. Daraus ergibt sich die folgende Beteiligung am Jahresphosphoreintrag:

Forstflächen	25,9 ··· 35,6 v. H.
Extensiv genutzte landwirtschaftliche Produktionsflächen	2,0 ··· 2,7 v. H.
Intensiv genutzte Flächen	
natürlicher Anteil	4,2 ··· 5,4 v. H.
zusätzlicher Anteil durch landwirtschaftliche Nutzung	13,6 ··· 18,9 v. H.
Abwässer der Ortschaften in der DDR	13,3 ··· 19,3 v. H.
Abwässer der Stadt Braunlage (BRD)	24,1 ··· 35,0 v. H.

Diese Zahlen zeigen, daß bei der spezifischen Struktur des 269,3 km² umfassenden Einzugsgebietes nur 13,6 bis 18,9 v. H. des in die Talsperre gelangenden Phosphors auf die landwirtschaftliche Nutzung der rund 4200 ha umfassenden Produktionsflächen zurückzuführen sind. Zwar ist der Phosphorabtrag von Forstflächen mit jährlich 0,21 bis 0,30 kg P/ha geringer als bei jeder anderen Nutzung, doch führt das zu 85 v. H. bewaldete Einzugsgebiet trotzdem zu der vorstehend ausgewiesenen erheblichen Phosphorbelastung des gesamten Talsperrensystems. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß einzelne Gebiete, wie z. B. das zum Teil intensiv genutzte Hasseleinzugsgebiet, eine sehr hohe P-Belastung der Wasserläufe mit sich bringen (Wegener 1972). Aus der Berechnung der Nährstoffanteile im Zuflußwasser ergibt sich ferner, daß unmittelbar vor Beginn der Bedingungen für die Maximalentwicklung des Phytoplanktons im Sommerhalbjahr, zunächst bei Vernachlässigung einer gewissen Phosphoreliminierung im See, eine Gesamtphosphorkonzentration von mindestens 0,05 mg P/l in der Rappbodetalsperre vorhanden sein dürfte. Unter Berücksichtigung der angedeuteten Phosphorverminderung, die im übrigen auch im Winterhalbjahr auftritt, kommt die errechnete P-Konzentration der tatsächlich im See gemessenen von 0,03 bis 0,04 mg P/l sehr nahe (Beuschold 1972). Vollenweider (1968) gibt als Grenzbereich der Phosphorkonzentration, bei dessen Überschreitung mit eutrophen Verhältnissen im See zu rechnen ist, einen Wert von 0,01 mg P/l an. Wird diesem Wert die errechnete und auch tatsächlich gefundene Konzentration von rund 0,04 mg P/l gegenübergestellt, so ergibt sich, daß selbst bei Beseitigung des gesamten aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung stammenden errechneten Anteils von 13,6 bis 18,9 v. H. der jährlich zugeführten Phosphormenge die im See verbleibende P-Konzentration noch weit über der von Vollenweider markierten Grenze zwischen Oligotrophie und Eutrophie liegt. Oligotrophe Verhältnisse mit der für sie charakteristischen geringen Planktonproduktion sind demnach allein durch Maßnahmen zur

Einschränkung des Phosphorabtrages von landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht zu erreichen. Es kann hierdurch nur eine graduelle Verringerung der Individuendichte und der zeitlichen Dauer von Planktonmassenentwicklungen erzielt werden.

Hiernach sind im Einzugsgebiet der Rappbodetalsperre im Rahmen der Pflanzenproduktion in der Landwirtschaft über die gesetzlich fixierten Forderungen des Landschafts- und Gewässerschutzes (wie z. B. nach TGL 24 345 und TGL 24 348) hinaus nur solche Sanierungsforderungen ökonomisch vertretbar, die zu einer deutlichen Verbesserung der Qualität des Talsperrenwassers führen und gleichzeitig auch aus landeskultureller Sicht sinnvoll erscheinen. Abgesehen davon kann jedoch durch landwirtschaftliche Maßnahmen in Teileinzugsgebieten mit vorherrschend landwirtschaftlicher Produktion durchaus eine spürbare Phosphorentlastung der Gewässer erreicht werden. Diese Erkenntnisse finden eine entsprechende Berücksichtigung in einer Anzahl von Vorschlägen für die landwirtschaftliche Nutzung in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren (Anonym 1971). So kann z. B. der bisherigen Forderung nicht zugestimmt werden, umfangreiche Grünlandflächen aus der Bewirtschaftung herauszunehmen und in die bisher üblichen Wiesenschutzstreifen umzuwandeln. Möglichkeiten zur Verminderung der Phosphor- und Stickstoffabspülung in die Gewässer werden aufgezeigt, aus denen auch für andere Talsperreneinzugsgebiete je nach ihrer spezifischen Situation prinzipiell geeignete Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Bevor auf einige dieser Zusammenhänge, insbesondere in bezug auf den Phosphor, eingegangen wird, sollen zunächst die hierzu als Grundlage dienenden Versuchsergebnisse betrachtet werden.

2. Charakteristik des Untersuchungsgebietes

Die Parzellenversuche mit Acker- und Grünlandnutzung – gegliedert in drei Versuchsanlagen A, B und C mit Varianten (Erläuterung Abb. 2) – lagen im Gebiet des Füllenbruches südlich der Ortschaft Stiege (Meßtischblatt 4321). Die Merkmale des Standortes sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Übersicht zum Versuchsstandort

Ort	Stiege – Füllenbruch
Höhe über NN	516 bis 520 m
Exposition	nach NNO schwach geneigter Hang
Hangneigung:	
Versuchsanlagen A und B	\bar{x} 5 v. H.
Versuchsanlage C	\bar{x} 7 v. H.
Muttergestein	Kulmgrauwacke
Standorteinheit	V 9
Bodenart	Lehm
Grünlandzahl	L II c 3
Bodentyp	Brauner Waldboden
Spezifisches Gewicht:	
Versuchsanlagen A und B	2,62
Versuchsanlage C	2,60
Abschlämbbare Teile	\bar{x} 48,53 v. H.
Rohhumusgehalt	etwa 8 v. H.
Nährstoffgehalt des Bodens zu Versuchsbeginn:	
pH (in KCl)	\bar{x} 6,0 (schwach sauer)
P (Phosphor in mg je 100 g Boden)	\bar{x} 2,6 (niedrig)
K (Kali in mg je 100 g Boden)	\bar{x} 6,3 (mittel)

Standortnutzung vor Versuchsbeginn	Umtriebsweide
50jähriges Mittel des Jahresniederschlages im Zeitraum 1901 bis 1950	772 mm
Mittel des Jahresniederschlages im Zeitraum 1967 bis 1971	760 mm
Anteil des Niederschlages im Sommerhalbjahr am mittleren Jahresniederschlag im Zeitraum 1967 bis 1971	55 v. H.
Höchste Niederschlagsintensität im Zeitraum 1967 bis 1971	18. Mai 1971 78,0 mm/h
50jähriges Mittel der Jahreslufttemperatur im Zeitraum 1901 bis 1950	6,1 °C
Mittel der Jahreslufttemperatur im Zeitraum 1967 bis 1971	6,3 °C
Mittel der Anzahl jährlich auftretender frostfreier Tage im Zeitraum 1967 bis 1970	145
Mittel der Anzahl jährlich auftretender Wachstumstage im Zeitraum 1967 bis 1971	201

Die Phosphorversorgung der untersuchten Flächen weist Tabelle 2, Seite 191, aus. Die Bodennährstoffuntersuchungen ergaben für die P-Versorgung Mittelwerte zwischen 2,2 und 3,1 mg P/100 g Boden, also trotz jährlicher Düngung einen niedrigen Phosphorgehalt (Bergmann u. a. 1966).

Die Pflanzenbestände der Parzellen sind umbruchlos aus Goldhaferwiesen (Triseteten) hervorgegangen und stellen nach fast 20jähriger Nutzung Rispengras - Kulturrasen (*Poa pratensis*, *P. trivialis*) mit deutlich montanen Einflüssen dar.

3. Versuchsmethodik

Im Jahre 1966 wurden Beregnungsversuche angelegt, mit denen Erkenntnisse über den oberflächlichen Phosphor- und Stickstoffabtrag bei verschiedenen Abflußbedingungen erarbeitet werden konnten. Durch die künstliche Wasserzufuhr zusätzlich zum natürlichen Niederschlag ergaben sich kontinuierliche Meßreihen mit zahlreichen Wiederholungen bzw. sind Starkniederschläge simuliert worden, wie sie unter natürlichen Bedingungen nur äußerst selten auftreten.

Zum Einsatz kam eine Reihenberegnung von Mai bis November mit Gela-Regenpizen vom Typ G 32, wobei die Regenmengen von 25 bis 364 mm je Gabe variiert wurden, d. h., die Beregnung wurde so gesteuert, daß möglichst ein Oberflächenabfluß zustande kam. Nur während ausgesprochener Trockenperioden ist häufig kein Abfluß erreicht worden. Beobachtungen ohne Beregnung wurden auch im Winter und während der Schneeschmelze vorgenommen.

Die 30 m² großen Parzellen zur Prüfung des Wasserabflusses und Nährstoffabtrages - näher erläutert in Abb. 2 - wurden als Ackerland mit Klee-grasanbau, wobei Knautgras (*Dactylis glomerata*) bestandsbildend wurde (Abb. 2, Versuchsanlage A), und als Grünland (Abb. 2, Versuchsanlage B) genutzt, wobei in beiden Anlagen jährlich Düngergaben von 32 kg P als Super- bzw. Alkaliphosphat, 50 kg K als 50 %iges Kalisalz und 120 kg N als Kalkammonsalpeter sowie eine dreifache Schnittnutzung erfolgten. Die Versuchsparzellen hatten in Gefällrichtung am unteren Rande entweder keine oder 1, 2, 5 und 10 m breite Schutzstreifen mit einer Grasnarbe, sogenannte Wiesenschutzstreifen (WSS). Abfließendes Oberflächenwasser

Tabelle 2. pH-Wert und Phosphorgehalt des Bodens der Versuchspartellen
(Mittelwerte in mg P je 100 g Boden) der Versuchsanlagen A, B und C
(Erläuterung der Versuchsanlagen und Varianten Abb. 2, Seite 192)

Versuchsanlage: Variante:	A		B		C											
	1...5 (Mittelwerte)		1...6 (Mittelwerte)		1		2		3		4		5		6	
Jahr	pH	p	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH	P
1966	6,3	2,6	6,1	3,1	6,1	3,1	5,9	3,1	5,9	1,7	5,9	2,2	6,1	2,6	6,1	3,1
1967	5,6	1,3	6,1	3,1	5,8	2,4	5,9	2,2	6,0	2,6	5,4	2,5	5,7	1,6	5,4	1,8
1968	5,9	2,6	6,1	3,1	6,0	2,2	5,9	1,9	5,9	2,6	5,8	2,9	6,1	3,2	5,9	3,3
1969	6,2	2,6	5,5	1,7	5,9	3,6	6,0	3,3	6,2	4,3	5,9	4,0	6,1	3,9	5,8	3,5
1970	5,6	1,7	5,8	2,2	6,0	3,3	6,0	1,6	6,1	3,4	6,0	3,5	6,0	3,3	5,8	3,7
Mittel 1966 bis 1970	5,9	2,2	5,9	2,6	6,0	2,9	5,9	2,4	6,0	2,9	5,8	3,0	6,0	3,0	5,8	3,1

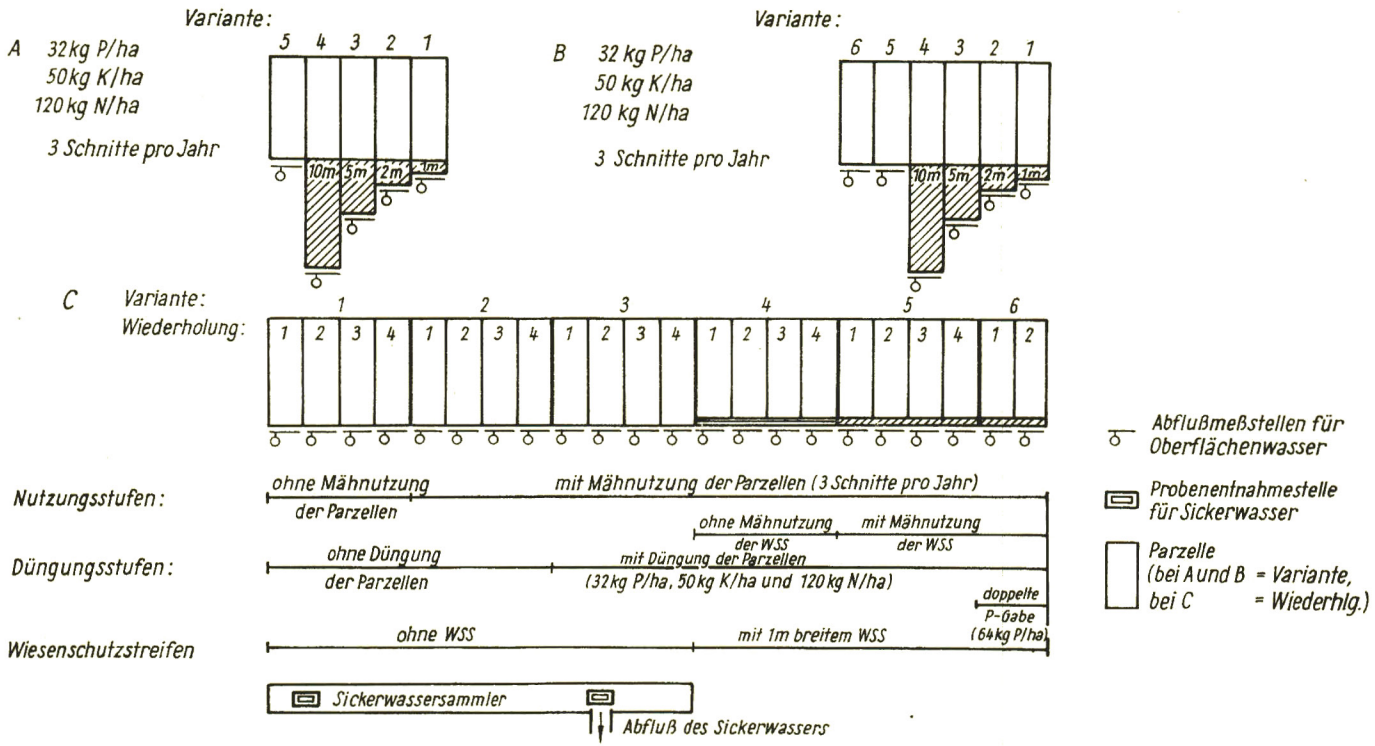


Abb. 2. A – Ackerlandbewirtschaftungsanlage mit variablen Breiten von Wiesenschutzstreifen (ohne WSS; schmale WSS = 1 m und 2 m; breite WSS = 5 m und 10 m);

B – Grünlandbewirtschaftungsanlage mit variablen Breiten von Wiesenschutzstreifen (ohne WSS; schmale WSS = 1 m und 2 m; breite WSS = 5 m und 10 m);
C – Grünlandbewirtschaftungsanlage mit unterschiedlichen Nutzungs- und Düngungsstufen sowie unterschiedlich behandelten 1 m breiten Wiesenschutzstreifen

konnte in Rinnen aufgefangen und von dort in Entnahmeflaschen bzw. Meßeinrichtungen weitergeleitet werden (Abb. 3), während austretendes Sickerwasser in einem Fanggraben unterhalb der Parzellen mit Hilfe eines automatischen Wasserprobentnahmegerätes gemessen wurde. Auf der dritten Versuchsanlage sind die Parzellen entweder ohne oder nur mit 1 m breiten WSS ebenfalls als Grünland angelegt, jedoch unterschiedlich gedüngt und gemäht worden (Abb. 2, Versuchsanlage C). Auf zwei Parzellen wurde z. B. eine doppelte P-Gabe, d. h. 64 kg P/ha verabreicht. Auf allen Parzellen der drei Versuchsanlagen erfolgten jährlich Bodennährstoffuntersuchungen und Ertragsermittlungen (Nitzsche 1973).

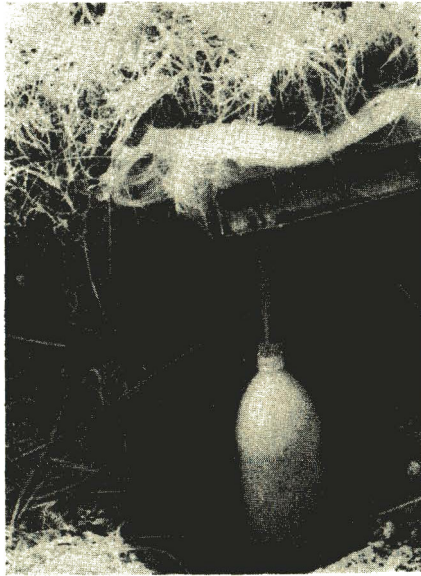


Abb. 3. Meßeinrichtung für den Wasserabfluß

4. Untersuchungsergebnisse

Nach Erreichen der vollen Wasserkapazität des Bodens kam es auf den Parzellen zu oberirdischen Abflüssen. Jedoch wurde trotz hoher Regenmengen während eines Beregnungseinsatzes auf Grund unterschiedlicher Gelände- und Bodenbedingungen sowie Pflanzenbestände nicht von allen Versuchsgliedern ein Oberflächenabfluß erzielt. Sehr wichtig für diesen Abfluß waren die Menge, Intensität und Dauer des Regens sowie die Bodenfeuchteverhältnisse zu Beginn des Niederschlages. Diese Zusammenhänge sind von Arnold (1968) unter ähnlichen klimatischen Bedingungen im Erzgebirge untersucht worden, wobei er für Gebirgslagen besonders auf sommerliche Starkregenfälle mit der damit verbundenen Erosionsgefahr hinweist, während in der für die Erosion sehr kritischen vegetationslosen Zeit solche Starkregen seltener auftraten.

Auf den Versuchspartzen flossen bei Wassersättigung des Bodens im Mittel nur 4. v. H. des Gesamtabflusses nach den Beregnungseinsätzen oberflächlich ab, d. h., während der Vegetationszeit war der Oberflächenabfluß unbedeutend. Der überwiegende Teil der Beregnungswassermenge versickerte; er trat also als Sickerwasser an den Meßeinrichtungen auf. Eine Phosphorverlagerung in Schichten unter 20 cm wurde auch nach hohen Regengaben nicht festgestellt. Es kam jedoch zu Phosphorauswa-

schungen, die in relativ geringen Konzentrationen im Sickerwasser analysiert werden konnten (Nitzsche 1973).

4.1. Phosphorabtrag durch Beregnungswasser

Da die Beregnung vorwiegend in der Vegetationsperiode eingesetzt worden war, wurde die Phosphorkonzentration des abfließenden Wassers fast immer nach Überfließen eines noch wachsenden bzw. biologisch tätigen Pflanzenbestandes gemessen. Die variantenweise zusammengefaßten Mittelwerte der Phosphorkonzentrationen des Oberflächenabflusses von Beregnungswasser schwankten bei der Grünlandbewirtschaftungsanlage C (Erläuterung s. Abb. 2) zwischen 0,551 und 1,316 PO_4/l sowie zwischen 0,886 und 2,083 mg Gesamtphosphor (in PO_4)/l (Abb. 4).

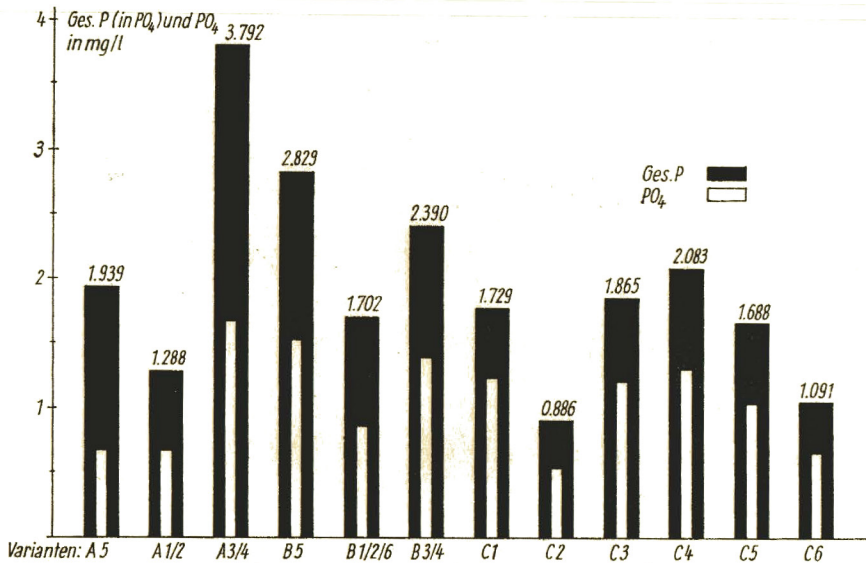


Abb. 4. Phosphorabträge bei Acker- und Grünlandbewirtschaftung mit und ohne WSS

Für die genannten zwei Phosphorkomponenten wurde die höchste Konzentration auf Grünlandparzellen mit Düngung, 3maliger Schnittnutzung sowie genutzten und ungenutzten WSS ermittelt (Abb. 2, Versuchsanlage C, Varianten 4 und 5). Insgesamt weisen diese Varianten keine wesentlichen Unterschiede der Beregnungswasserabflüsse bzw. der PO_4 - und Gesamtphosphor-Mittelwerte auf. Die geringsten Nährstoffabträge wurden bei genutzten, jedoch ungedüngten Grünlandparzellen ohne WSS festgestellt (Abb. 2, Versuchsanlage C, Variante 2). Es folgte die Variante 6, genutzt mit einer Phosphorgabe von 64 kg und einem 1 m breiten WSS.

Die Phosphorkonzentrationen im abfließenden Wasser der Parzellen der Grünlandbewirtschaftungsanlage B mit gestaffelter Breite der WSS lagen über der Konzentration der Anlage C.

Im Gegensatz zu den Grünlandparzellen der Versuchsanlagen B und C lagen der Boden- und Phosphorabtrag der Ackerland-Parzellen der Versuchsanlage A mit 5 und 10 m breiten WSS höher (Abb. 4). Andererseits war die Abfluhhäufigkeit wesentlich geringer und die Infiltration während der Beregnung bei kleinen Tröpfchengrößen besser als auf den benachbarten Grünlandparzellen mit ihrer geschlossenen Grasnarbe.

Auf den Parzellen ohne WSS und mit 1 bzw. 2 m breiten WSS ergab sich eine so günstige Infiltration, daß es nur selten zu Oberflächenabflüssen kam, wodurch somit auch niedrige Phosphorabträge auftraten (Abb. 4).

4.2. Phosphorabtrag durch Niederschlagswasser

Die beobachteten Wasserabfluß- und Phosphorabtragswerte nach natürlichen Niederschlägen können – obgleich durch dazwischenliegende Beregnungsgaben insgesamt eine höhere mittlere Bodenfeuchte vorlag – annähernd als typisch für die standortspezifischen Abflußverhältnisse während der Vegetationszeit gelten. So wurde in den Jahren 1969 bis 1971 auf der Grünlandbewirtschaftungsanlage C (s. Abb. 2) nur an neun Tagen ein Oberflächenabfluß nach natürlichem Niederschlag festgestellt. Die Orthophosphatmittelwerte aller Varianten dieser Versuchsanlage schwankten zwischen 0,834 und 2,972 mg PO₄/l. Wie Tabelle 3 zeigt, unterlagen die Gesamtphosphor-Konzentrationen Schwankungen von 1,307 bis 4,433.

Tabelle 3. Phosphorkonzentrationen im Oberflächenabfluß natürlicher Niederschläge

Versuchsanlage C (Erläuterung s. Abb. 2)

Variante	1	2	3	4	5	6
Orthophosphat (PO ₄) in mg/l	1,780	0,834	2,972	1,563	1,394	1,031
Ges. P (in PO ₄) in mg/l	2,550	1,307	4,433	2,627	2,344	1,740

Die niedrigsten Werte wurden ähnlich dem Beregnungswasserabfluß auf der 3mal gemähten, aber ungedüngten Variante 2 ohne WSS gemessen. Dagegen wurden die höchsten Konzentrationen im abfließenden Wasser festgestellt, wenn neben der 3maligen Schnittnutzung der Grünlandparzellen ohne WSS auch die Düngung bis an die Abflußrinne heranreichte. Ähnlich hohe Werte ergaben sich auf der Variante 5 ohne WSS der Grünlandbewirtschaftungsanlage B (s. Abb. 2).

Die Phosphorkonzentrationen der ackerbaulich genutzten Parzellen der Versuchsanlage A (Abb. 2) wiesen ähnliche Tendenzen wie bei den Parzellen unter Grünlandnutzung auf. Auch während natürlicher Niederschläge entsprach die Bodeninfiltration derjenigen wie bei der Beregnung, so daß während der Vegetationszeit keine Bodenerosion festgestellt werden konnte. Dagegen ergaben sich auf einer Erosionstestparzelle, die vom Bewuchs freigehalten wurde, erhebliche Abträge. Nach einem Gewitterniederschlag im Mai 1971 mit einer Gesamtregenmenge von 78 mm wurde im Oberflächenabfluß eine Phosphorkonzentration von 23,000 mg/l gemessen. Dieser hohe Wert zeigt, daß starke Niederschläge auf nahe an Wasserläufen befindlichem Ackerland eine erhebliche Erosion bewirken können. Hierbei müssen jedoch zumeist mehrere ungünstige Bedingungen, wie eine entsprechende Geländeneigung, eine spärliche Vegetation sowie eine erosionsfördernde Bearbeitung u. a. m., zugleich wirksam sein, um einen merklichen Bodenabtrag zu verursachen.

4.3. Phosphorabtrag durch Schmelzwasser

Die Untersuchungen auf schneebedeckten Parzellen, so z. B. die Messungen der Phosphorkonzentration im abfließenden Schmelzwasser, ergeben einen Einblick in den Nährstoffabtrag während der vegetationslosen Zeit.

Die Mittelwerte aller Varianten der Grünlandbewirtschaftungsanlage C (Abb. 2) wiesen für Schmelzwasserabflüsse einen Phosphorabtrag von 3,433 bis 11,292 mg PO₄/l auf.

Tabelle 4 zeigt wiederum die mittleren Orthophosphatkonzentrationen und die Gesamtphosphorwerte.

Tabelle 4. Phosphorkonzentrationen im Schmelzwasserabfluß

Versuchsanlage C (Erläuterung s. Abb. 2)

Variante	1	2	3	4	5	6
Orthophosphat (PO ₄) in mg/l	4,992	3,433	7,890	11,292	5,226	4,289
Ges. P (in PO ₄) in mg/l	10,492	4,922	10,923	16,156	7,231	6,003

Das Schmelzwasser enthielt somit die höchsten Phosphorkonzentrationen. Dabei waren die Werte der Variante 1 (ungedüngt und ungenutzt ohne WSS), der Variante 3 (gedüngt und genutzt ohne WSS) und der Variante 4 (gedüngt und genutzt, aber ungenutzte WSS) ungünstig, während die Variante 2 (ungedüngt und genutzt ohne WSS) deutlich niedrigere Werte aufwies. Die mit doppelter Menge, d. h. mit 64 kg Phosphor gedüngten Parzellen der Variante 6 zeigten keinen erhöhten Phosphorabtrag.

Die ackerbaulich genutzten Parzellen der Versuchsanlage A wiesen gegenüber den Grünlandbewirtschaftungsanlagen auch während der Schneeschmelze keine erhöhten Phosphorabträge auf. Sogar bei schnellverlaufender Schneeschmelze floß das Wasser vorwiegend hypodermisch ab.

4.4. Vergleichende Betrachtung des Phosphorabtrages durch Beregnungs-, Niederschlags- und Schmelzwasser

Die Nährstoffabträge ließen bei Beregnungs- und Niederschlagswasser sowie bei Schneeschmelzwasser teilweise ähnliche Tendenzen erkennen.

Nicht nach jedem Beregnungseinsatz wurde ein Oberflächenabfluß beobachtet. Voraussetzungen für einen derartigen Abfluß waren das Erreichen der vollen Wasserkapazität des Bodens, häufig auch eine lückige Pflanzendecke und ein niedriger Rauheitsbeiwert der Bodenoberfläche.

Das Schmelzwasser brachte wegen des fehlenden biologisch tätigen Pflanzenbestandes eindeutig die höchsten Phosphorabträge. Selbst der niedrigste Mittelwert des Gesamtphosphorabtrages während der Schneeschmelze bei ungedüngtem, aber genutztem Grünland ohne WSS (Tab. 4, Variante 2) war noch weitaus höher als alle Mittelwerte des Gesamtphosphorabtrages bei Beregnungs- und Niederschlagsabfluß auf den gleichen Grünlandflächen (Abb. 4 und Tab. 3, Varianten 1 bis 6).

Die in der Vegetationszeit genommenen Beregnungs- und Niederschlagswasserproben wiesen ähnliche Tendenzen der Phosphorkonzentrationen auf. Selbst bei hoher Intensität des natürlichen Niederschlages waren die abgespülten Phosphormengen nur im Vergleich zur Beregnung unbedeutend erhöht.

Die vergleichsweise niedrigsten Phosphorwerte wurden bei Beregnungs-, Niederschlags- und Schmelzwasserabfluß auf ungedüngtem, aber genutztem Grünland ohne WSS gemessen. Diese geringen Phosphorkonzentrationen stimmten auch mit niedrigen Phosphorgehalten in der Pflanzentrockenmasse und im Boden überein (Nitzsche 1973). Wegen des geringen Ertrages entfällt diese Bewirtschaftungsform für die intensiv wirtschaftenden sozialistischen Landwirtschaftsbetriebe.

Insgesamt wurden 1,9 v. H. des applizierten Phosphordüngers, davon 50 v. H. durch Oberflächenabtrag im Winterhalbjahr, 17 v. H. durch Oberflächenabtrag in der

Vegetationszeit und 33 v. H. unterirdisch durch das Sickerwasser, in die Gewässer eingetragen. Nebenbei sei bemerkt, daß 9,7 v. H. des gedüngten Stickstoffes in die Wasserläufe gelangten, wobei 90 v. H. unterirdisch transportiert, d. h. ausgewaschen wurden.

5. Einige Schlußfolgerungen für die sozialistische Landwirtschaft und die Wasserwirtschaft

5.1. Verminderung des Phosphorabtrages in der Vegetationszeit

Die Untersuchungen, besonders während der Starkregenfälle im Mai des Jahres 1971, zeigten, daß der Phosphorabtrag von vegetationsbedeckten Flächen gering ist und das Grünland daher wesentlich günstiger zu beurteilen ist als das Ackerland. Zwar wurde auf den Grünlandparzellen infolge geringerer Infiltrationsleistung ein größerer Wasserabfluß beobachtet, doch war dieses Wasser im Gegensatz zu den Abflüssen auf der Ackerlandparzelle nur gering mit Bodenteilchen angereichert. In Talauen sollte aus diesen Gründen Ackerland in Grünland umgewandelt und selbst auf eine periodische Grünlanderneuerung verzichtet werden. Um die Erosion an Hängen mit über 12 v. H. Neigung einzudämmen, ist eine Nutzungsänderung des Ackerlandes zu empfehlen (Wegener 1972).

Auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen ist eine Verminderung des Phosphorabtrages im wesentlichen darin zu sehen, daß durch Anbau bodenschützender Kulturen sowie durch eine geeignete Düngung, Pflege und Nutzung die Ertragsfähigkeit der Pflanzenbestände gesteigert wird. Wegen der kurzzeitigen Bedeckung durch die Vegetation und der dadurch bedingten Erosionsgefährdung erwies sich ein umfangreicher Sommergetreide- und Kartoffelanbau in Talsperreneinzugsgebieten als ungünstig. Bei den verbleibenden Kartoffelschlägen auf gering geneigten Flächen sollte darauf geachtet werden, die angehäufelten Dämme in Richtung der Höhenschichtlinien anzulegen. Grundsätzlich sollte mehr als bisher ein Bodenschutz durch Fruchtfolgemafnahmen angestrebt werden.

5.2. Verminderung des Phosphorabtrages außerhalb der Vegetationszeit

Unter den Klimabedingungen des Untersuchungsgebietes stehen sechs Vegetationsmonaten sechs außerhalb der Vegetationszeit gegenüber, in denen der Phosphorabtrag nicht über den Pflanzenbestand gesteuert werden kann. Besonders die Ergebnisse der Versuchsanlagen A und B mit unterschiedlich breiten WSS zeigten, daß der Phosphorabtrag im Herbst zunächst langsam anwächst und im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze höchste Werte erreicht. Bei starkem Wasserabfluß werden nicht nur phosphorreiche Feinerdeteilchen abgespült, sondern wasserwirtschaftlich bedeutungsvolle Phosphormengen, die im Schnee gebunden vorliegen, freigesetzt [z. B. im Winter 1969/70 560 g P (in PO_4)/ha].

Auf dem Grünland sind die herbstlichen Pflegemaßnahmen so abzustimmen, daß durch Schmelzwässer kein Bodenabtrag eintritt. Auf eine Phosphordüngung im Herbst sollte verzichtet werden. Hierzu durchgeführte Untersuchungen zeigten, daß bei einer Vorratsdüngung im Jahre 1971 und zusätzlichen Regengaben von 40 mm 1,2 v. H. des aufgebrauchten Phosphordüngers oberflächlich abgetragen wurden. Durch das Sickerwasser wurden 0,016 v. H. des Phosphordüngers ausgespült. Unter praktischen Bedingungen kam es bei einer Phosphor-Vorratsdüngung auf einer 1,5 ha großen Grünlandfläche in einem Zeitraum von 14 Tagen zu einem Phosphorabtrag von 1,7 v. H. der Düngermenge (Wegener 1972).

Phosphor- und Kalidünger sollten jährlich im Frühjahr auf die abgetrockneten Flächen ausgebracht werden. Nasse Grünlandflächen sollte man grundsätzlich nicht düngen. Zudem ist es vorteilhaft, die Düngung bei günstigen Witterungsverhältnissen durchzuführen. Damit können Ab- und Ausspülungsverluste vermieden werden. Der Anteil pflanzenverfügbaren Phosphors sollte vor allem in der Vegetationszeit möglichst groß sein. Düngermengen von 32 kg P/ha neben 200 bis 250 kg N/ha sind bei sachgemäßer Anwendung wasserwirtschaftlich unbedenklich und gewährleiten optimale Erträge für den vorliegenden Standort. Besonders die N-Düngung sollte jedoch streng vegetationsgebunden erfolgen. Durch ein zu schaffendes Düngungsmodell für Talsperreneinzugsgebiete wäre die gesamte Düngung dieser Gebiete der vorrangigen Trinkwassergewinnung anzupassen.

5.3. Die Bedeutung von Wiesenschutzstreifen

Die bisher angelegten Wiesenschutzstreifen (WSS), d. h. ungedüngte und ungenutzte Grünlandstreifen an den Vorflutern, erwiesen sich auf dem vorliegenden Versuchsstandort zur Verhinderung der Talsperreneutrophierung als wirkungslos. Gleichfalls zeigten bis 10 m breite Wiesenschutzstreifen (ungedüngt, jedoch genutzt) zwischen Acker- bzw. Grünlandflächen und Wasserläufen nur eine begrenzte Wirksamkeit zur Verminderung des Phosphor- und Stickstoffeintrages in Gewässer. Der überwiegende Teil des Niederschlages floß den Wasserläufen hypodermisch zu. Weiterhin wurde der größte Phosphorverlust im Winterhalbjahr festgestellt, wogegen die Wiesenschutzstreifen ebenso ungeeignet waren. Demgegenüber kommt es bei sachgemäßer Düngung und Nutzung der Grünlandflächen zu niedrigeren Nährstoffabträgen. Die Verminderung der Phosphor- und Stickstoffverluste der untersuchten landwirtschaftlichen Nutzflächen war durch die jährliche dreimalige Schnittnutzung gegeben. Hohe Ernteerträge korrelierten mit starken Nährstoffentzügen über die Pflanzensubstanz. Um die vor allem im Winterhalbjahr erhöhten Phosphor- und Stickstoffabträge einzuschränken, sollten daher diese Grünlandflächen bis an die Böschungsoberkante der Wasserläufe genutzt werden, da eine intensiv genutzte, dichte Vegetationsdecke sehr wirksam vor Nährstoffabtrag schützt, wobei die schon erwähnte sachgemäße Düngung mit zu beachten ist. Die an Wasserläufen liegenden Grünlandflächen sollten dabei bis 1 m an die Böschungsoberkante mit Dünger versorgt werden.

6. Zusammenfassung

Es wurden Teilergebnisse von Untersuchungen über den Einfluß der landwirtschaftlichen Nutzung auf den Eintrag von Phosphor in die Gewässer im Einzugsgebiet der Rappbodetalsperre beschrieben.

Zunächst wird die Rolle des Phosphors bei der Eutrophierung der Talsperren erläutert.

Auf die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet der Rappbodetalsperre sind 13,6 bis 18,9 v. H. der jährlichen Gesamtphosphorzufuhr zurückzuführen.

In zwei Versuchsanlagen mit Grünlandnutzung und einer Versuchsanlage mit Ackernutzung wurde bei natürlichem Niederschlag, bei künstlicher Beregnung und bei Schneeschmelze die Phosphorkonzentration im abfließenden Wasser gemessen. Dabei konnte festgestellt werden, daß während der Vegetationszeit und bei geschlossener Pflanzendecke der oberirdische Phosphorabtrag gering ist. Außerhalb der Vegetationszeit nahm die Phosphorabspülung selbst auf dem Grünland zu.

Die bisher angelegten Wiesenschutzstreifen ergaben nicht die gewünschte Wirkung einer Verhinderung des Phosphorabtrages von Grünlandflächen. Eine Nutzung des Grünlandes bis an die Grabenböschung mit einem düngerfreien Streifen von 1 m ist stattdessen anzustreben.

Wesentlich zur Verminderung des Phosphorabtrages auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind erosionsschützende Maßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Fruchtfolge und des Verzichtes auf eine Phosphorvorratsdüngung.

Die erzielten Ergebnisse und daraus abgeleiteten Schlußfolgerungen gelten zunächst nur für den untersuchten spezifischen Standort bzw. für prinzipiell ähnlich gelagerte territoriale Bedingungen.

S c h r i f t t u m

- Ambühl, H.: Der Einfluß chemischer Düngung auf stehende Oberflächengewässer. Gas- und Wasserfach (München) 107 (1966) 357–363.
- Anonym: Vorschläge für die landwirtschaftliche Nutzung in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren unter besonderer Berücksichtigung der Wirkungsweise von Wiesen-schutzstreifen. Abschlußbericht 1971. Forschungs- und Entwicklungsstelle Institut für Wasserwirtschaft Berlin. Bearbeiter: VEB Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz Torgau und Sektion Pflanzenproduktion, Lehrstuhl Landwirtschaftliche Meliorationen, Univ. Halle. Halle 1971.
- Arnold, K. H.: Nährstoffabtrag von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Fortschr. Wasser-chemie (Berlin) 8 (1968) 131–142.
- Arnold, K.-H.: Der Einfluß der physisch-geographischen Faktoren auf den Nährstoffeintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer. Forschungsabschlußbericht Nr. 3800–109 (1970) der Wasserwirtschaftsdirektion Obere Elbe–Mulde. Dresden.
- Benndorf, J.: Untersuchungen über die Remineralisierung des Phosphors in der Freiwasser-region der Saidenbachtalsperre. Int. Rev. ges. Hydrobiol. (Berlin) 53 (1968) 635–650.
- Bergmann, G., A. Güther und B. Witter: Anleitung für die Aufstellung von Düngungsplänen. Veröff. des Inst. für Pflanzenernährung Jena der DAL Berlin. Jena 1966.
- Bernhardt, H.: Probleme der Trinkwasserversorgung aus Talsperren. Städtehygiene (Uelzen) 18 (1967) 49–53 u. 150–153.
- Bernhardt, H., W. Such und A. Wilhelms: Untersuchungen über die Nährstofffrachten aus vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. Münchener Beitr. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie (München) 15 (1968).
- Bernhardt, H.: Maßnahmen zur Begrenzung der Eutrophierung in der Wahnbachtalsperre. Fortschr. Wasserchemie (Berlin) 14 (1972) 229–234.
- Beuschold, E.: Limnologische Untersuchungen im Hauptbecken der Saidenbach-Talsperre. Int. Rev. ges. Hydrobiol. (Berlin) 46 (1961) 18–42.
- Beuschold, E.: Entwicklungstendenzen der Wasserbeschaffenheit in den Ostharz-Talsperren. Wiss. Z. Univ. Leipzig, math.-nat. R. 15 (1966) 853–869.
- Beuschold, E.: Der Phosphoreintrag aus dem Einzugsgebiet in die Rappbode-Talsperre. Bericht des Zentrallabors Wienrode (1972), VEB Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz (unveröff.).
- Bucksteeg, W.: Welche praktische Bedeutung haben die Verfahren zur Abwendung der Gewässereutrophierung. In: Gewässerschutz im Lande Nordrhein-Westfalen, veröffentlicht als H. 83 der Haus der Technik-Vortragsveröffentlichungen. Essen: Vulkan-Verlag 1966.
- Höhne, E.: Die chemischen und biologischen Verhältnisse in den Trinkwassertalsperren und -teichen des mittleren Erzgebirges. Wiss. Z. Univ. Leipzig, math.-nat. R. 14 (1965) 231–237.
- Höhne, E.: Untersuchungen zur Regionallimnologie der Trinkwassertalsperren des mittleren und westlichen Erzgebirges. Diss. Techn. Univ. Dresden, Fak. Bau-, Wasser- und Forstwesen. Dresden 1970.
- Hofmann, R.: Die räumliche und zeitliche Verteilung der Phosphate in der Talsperre Saidenbach. Limnologica (Berlin) 8 (1971) 295–303.

- Klapper, H.: Biologische Untersuchungen an den Einläufen und Vorbecken der Saidenbach-Talsperre (Erzgeb.). *Wiss. Z. Univ. Leipzig, math.-nat. R.* 7 (1957) 11–47.
- Nitzsche, G.: Untersuchungen über den Phosphor- und Stickstoffabtrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Verhinderung der Eutrophierung der Rappbode-Talsperre im Harz. *Diss. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Lehrstuhl Landw. Meliorationen.* Halle 1973.
- Ohle, W.: Nährstoffanreicherung der Gewässer durch Düngemittel und Meliorationen. *Münchener Beitr. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie (München)* 12 (1965) 54–83.
- Pöpel, J.: Die Elimination von Phosphaten. In: *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, Nr. 16. München: Kommissionsverlag R. Oldenbourg 1966.
- Uhlmann, D.: Möglichkeiten der Nährstoffrückhaltung in Zuleitern von Trinkwassertalsperren. *Wiss. Z. Univ. Leipzig, math.-nat. R.* 10 (1961) 107–113.
- Uhlmann, D., und E. Albrecht: Biogeochemische Faktoren der Eutrophierung von Trinkwasser-Talsperren. *Limnologica (Berlin)* 6 (1968) 225–245.
- Vollenweider, R. A.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Seen- und Fließgewässereutrophierung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und des Stickstoffs als Eutrophierungsfaktoren. *Organisation for Economic Cooperation and Development, DAS/CSJ/68.27.* Paris 1968.
- Wegener, U.: Zur Weidenutzung in Talsperreneinzugsgebieten. *Arch. f. Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenproduktion (Berlin)* 15 (1971) 225–234.
- Wegener, U.: Der Nährstoffabtrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen und seine Verminderung bei der Verhinderung der Talsperreneutrophierung – gezeigt am Beispiel des Einzugsgebietes der Hassel im Harz. *Diss. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Lehrstuhl Landw. Meliorationen.* Halle 1972.
- Wetzel, A.: Biologische Beschaffenheit und Gütezustand von Trinkwasser-Talsperren. *Wasserwirtsch.-Wassertechn. (Berlin)* 12 (1962) 55–61.

Prof. Dr. sc. Klaus Dörter und Dr. Uwe Wegener
Sektion Pflanzenproduktion der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
Lehrstuhl Landwirtschaftliche Meliorationen
DDR - 402 H a l l e (Saale)
Ludwig-Wucherer-Straße 2

Dipl.-Biol. Erhard Beuschold
VEB Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz
DDR - 372 B l a n k e n b u r g (Harz)
Postfach 61