

Aus der Sektion Pflanzenproduktion
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Wissenschaftsbereich Standortkunde
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. sc. K. Dörter)

Umweltgerechte landwirtschaftliche Verwertung von Zuckerfabrikabwasser (ZFA)

Von Sabine Bernsdorf, Hubert Krause und Helmut Abdank

Mit 8 Tabellen

(Eingegangen am 28. August 1984)

1. Problem- und Aufgabenstellung

Im Jahre 1802 gründete der Direktor der physikalischen Klasse der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, F. K. Achard, nach erfolgreich weitergeführten Versuchen seines Lehrers A. S. Marggraf, die erste Fabrik zur Zuckergewinnung aus Runkelrüben. Damit war es auch unumgänglich geworden, das Abwasser aus der Zuckerfabrikation möglichst schadlos für die Umwelt zu verwerten. Auf Grund der engen sozialökonomischen Verbindung zwischen den einflußreichsten Zuckerrübenproduzenten und der Zuckerindustrie sowie durch die Anwendung der von Brix (1851) und Hulwa (1884) erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen ist relativ früh die landwirtschaftliche Verwertung des ZFA in Deutschland praktiziert worden (Anonym 1914).

Die technisch-technologische Entwicklung in der Zuckerrübenverarbeitung veränderte Menge, Zusammensetzung und Konzentration des ZFA, so daß durch die zunehmende Notwendigkeit und Möglichkeit des Abwassereinsatzes im intensiv betriebenen Acker- und Pflanzenbau unabdingbar ist, die Bodenbehandlung des ZFA unter diesen Aspekten weiterzuentwickeln. Besonders bei dem hohen Gehalt an Pflanzennährstoffen des Abwassers aus der modernen abwasserarmen Verarbeitungstechnologie hat die landwirtschaftliche Abwasserlandbehandlung zunehmende Bedeutung.

Abwässer aus Zuckerfabriken sind durch einen hohen Gehalt an fäulnisfähigen organischen Inhaltsstoffen gekennzeichnet. Bei Einleitung in Gewässer wird deren Sauerstoffgehalt übermäßig reduziert. Darüber hinaus treten Sekundärverschmutzungen durch Abwasserpilze auf (TGL 9194, 1984). Nach Thormann und Meyer (1976) wird die organische Belastung von ZFA mit einem BSB₅ von 3 500 ... 6 000 mg·l⁻¹ angegeben. Die mineralische Belastung liegt im Normalbereich bei N = 100 bis 150 mg·l⁻¹, bei P = 2,18 bis 4,36 mg·l⁻¹ und bei K = 83 bis 166 mg·l⁻¹. Hinzu kommen erhebliche Mengen an Ca, Mg und Na. In Abhängigkeit von der Technologie bei der Zuckerrübenverarbeitung schwanken diese Werte stark.

Probleme bei der landwirtschaftlichen Verwertung des ZFA können aus dem raschen Abbau der hohen organischen Last verbunden mit einem intensiven Sauerstoffentzug im Boden und an den Pflanzenwurzeln entstehen. Aufgabe vorliegender dreijähriger Gefäßversuche war es, Einfluß von Höhe und Anzahl der Abwassergaben, Bewässerungszeitpunkt, Abwasser mit unterschiedlich langer Speicherzeit und mit künstlicher Belüftung sowie Abwassermenge und -konzentration auf die Keimfähigkeit, den Pflanzenertrag und auf die chemischen Bodeneigenschaften zu prüfen.

2. Versuchsmethodik

Die Untersuchungen wurden in Mitscherlichgefäßen durchgeführt. Der verwendete Versuchsboden ist in Tab. 1 charakterisiert. Alle Gefäße erhielten eine einheitliche Grunddüngung. Ausgewählte Kennwerte des ZFA sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Tabelle 1. Charakteristik der Versuchsböden

Eigenschaft		1981/82	1983
Grobsand		5,9	7,2
Mittelsand		15,7	24,3
Feinsand		41,3	54,0
Grobschluff	% des Feinbodens	22,1	5,6
Mittelschluff		4,8	2,4
Feinschluff		1,9	2,3
Ton		8,3	4,2
T-Wert	mval · 100 g ⁻¹	6,80	4,30
H-Wert	mval · 100 g ⁻¹	0,80	1,60
Salzgehalt	%	0,04	0,02
C _t	%	0,74	0,58
N _t	%	0,09	0,06
P	mg · 100 g ⁻¹	10,00	5,60
Na	mg · 100 g ⁻¹	2,70	2,80
K	mg · 100 g ⁻¹	15,00	8,00
Mg	mg · 100 g ⁻¹	5,00	5,30
Ca	mg · 100 g ⁻¹	240,00	120,00
pH		6,30	5,80

Tabelle 2. Charakteristik des für die Untersuchungen verwendeten ZFA (\bar{x})

Merkmal		1981	1982	1983
BSB ₅	mg · l ⁻¹	49,0	1 595,0	225,0
pH		8,6	8,4	7,5
Salzgehalt	mg · l ⁻¹	1 373,0	2 540,0	2 300,0
Gesamt-N	mg · l ⁻¹	51,1	25,4	28,1

Die Bodenfeuchte wurde in einem Bereich von 50 bis 70 % nFÄ gehalten. Die Bewässerungsgaben betragen 30 mm. Durch Ergänzen mit Klarwasser waren bei den Varianten einheitliche Voraussetzungen für die Wasserversorgung geschaffen. Jede Variante hat fünf Wiederholungen. Als Pflanze für die Vegetationsversuche diente Weidelgras. Die Keimtests wurden mit Samen von Weidelgras, Zuckerrüben, Rotklee und Mais durchgeführt. Die Varianten sowie spezifische Versuchsbedingungen werden für die drei Versuchsjahre gesondert beschrieben. Im Jahre 1981 wurde im Testversuch der Einfluß der Abwassermenge und -konzentration, der Anzahl und der Höhe von Abwassergaben sowie des Bewässerungszeitpunktes geprüft.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Testversuche ist im Jahre 1982 die Wirkung von ZFA mit unterschiedlich langer Speicherzeit und künstlicher Belüftung unter Beachtung differenzierter Abwassermengen untersucht worden (Tab. 3). Die Höhe der N-Düngung betrug im 2. und 3. Aufwuchs 80 kg · ha⁻¹, im 4. und 5. Aufwuchs jeweils 60 kg · ha⁻¹. Die Bewässerung begann drei Tage nach dem Schnitt und wurde im dreitägigen Rhythmus fortgesetzt.

Tabelle 3. Versuchsvarianten (1982)

Var.	Bewässerungs- wasser	Zusatzwassermenge [mm]			
		240	330	420	510
1	Klarwasser	(1/1)	(1/2)	(1/3)	(1/4)
2	ZFA, Speicherzeit < 3 Monate	(2/1)	(2/2)	(2/3)	(2/4)
3	ZFA, Speicherzeit > 3 Monate	(3/1)	(3/2)	(3/3)	(3/4)
4	ZFA, künstlich belüftet	(4/1)	(4/2)	(4/3)	(4/4)

Im Versuchsjahr 1983 wurde die Auswirkung extrem hoher ZFA-Mengen geprüft (Tab. 4). Der zweite Aufwuchs erhielt $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ und der dritte Aufwuchs $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N. Die in dem Gefäßversuch verwendeten Abwässer wurden für den Keimtest genutzt.

Tabelle 4. Versuchsvarianten (1983)

Variante	Bewässerungswasser	Gesamtgabe [mm]
1	Klarwasser	990
2	ZFA	510
3	ZFA	630
4	ZFA	750
5	ZFA	870
6	ZFA	990

3. Versuchsergebnisse

3.1. Keimung

Die Wirkung des ZFA auf die Keimung geht aus Tab. 5 hervor. Die Keimfähigkeit der geprüften Samen wird durch die unterschiedliche Qualität des ZFA nicht beeinflusst. Die nachgewiesenen Veränderungen der Keimfähigkeit sind statistisch nicht zu sichern und stehen nicht in Zusammenhang mit dem BSB₅-Wert des ZFA.

Tabelle 5. Einfluß des ZFA auf die Keimfähigkeit (Keimfähigkeit bei Klarwasser = 100 %)

BSB ₅ mg · l ⁻¹	Weidelgras	Keimfähigkeit [%]		
		Zuckerrüben	Rotklee	Mais
49	109	65	—	—
225	100	73	—	100
1595	102	162	95	—

— kein Versuch

3.2. Frisch- und Trockenmasseerträge

Im Jahre 1981 wurden in ersten Testversuchen die besten Ergebnisse bei der höchsten Abwassermenge von $2 \times 30 \text{ mm}$ pro Aufwuchs und dem zeitigen Bewässerungstermin von 7 Tagen nach der Ernte erreicht. Bei allen Varianten mit zwei Abwassergaben sind gegenüber der Klarwasservariante signifikante Frisch- und Trockenmassemehrerträge von maximal 42 % bzw. 41 % nachzuweisen. Ein Verdünnen des Abwassers mit Klarwasser, niedrige Abwassergaben und -mengen sowie spätere Bewässerungstermine bringen bei der sehr geringen organischen Belastung des ZFA keinen Vorteil.

Die in Tabelle 6 und 7 dargestellten Frisch- und Trockenmasseerträge lassen keine Ertragsminderung bei Weidelgras durch Bewässerung mit ZFA erkennen.

Im Versuchsjahr 1982 wurden bei Variante 2 mit Abwasser einer Speicherzeit von weniger als drei Monaten die höchsten Erträge erreicht. Durch die künstliche Belüftung des ZFA tritt bei Variante 4 ein Abbau der organischen Substanz auf, wodurch die Abnahme der Erträge gegenüber der Variante 2 zu erklären ist. Abwassermengen bis zu 510 mm werden schadlos verwertet. Die höheren Erträge der Abwasservarianten sind nicht signifikant.

Im Versuchsjahr 1983 üben die geprüften hohen Abwassermengen von 510 bis 990 mm unter der Voraussetzung einer hohen Bewässerungsbedürftigkeit und sehr niedriger BSB₅-Werte ($250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) des ZFA einen positiven Einfluß auf den Ertrag aus. Mit steigender Abwassermenge erhöht sich der Trockenmassemehrertrag bis zu 56 % im Vergleich zur Klarwasservariante. Die Unterschiede sind hoch signifikant. Nach jedem Schnitt wurden die pflanzlichen Inhaltsstoffe bestimmt. Aus den Analysenwerten lassen sich folgende wesentliche Tendenzen ableiten:

- Die den Futterwert bestimmenden Gehalte an Rohfaser, Rohfett und Rohasche sind bei allen Abwasservarianten im Vergleich zur Klarwasservariante höher.
- Durch Bewässerung mit ZFA steigen die Na-, K- und N-Gehalte in der Pflanze an.

Tabelle 6. Relativer Frisch- und Trockenmasseertrag bei Weidelgras nach Bewässerung mit ZFA (1982)

Variante	Frischmasse [%]	Trockenmasse [%]
1/1	100	100
1/2	100	100
1/3	100	100
1/4	100	100
2/1	115	112
2/2	117	107
2/3	120	109
2/4	114	105
3/1	110	106
3/2	106	101
3/3	104	104
3/4	113	110
4/1	105	103
4/2	107	102
4/3	112	103
4/4	116 ⁺⁺	112 ⁺

Tabelle 7. Relativer Frisch- und Trockenmasseertrag bei Weidelgras nach Bewässerung mit ZFA (1983)

Variante	Frischmasse [%]	Trockenmasse [%]
1	100	100
2	155 ⁺⁺	123 ⁺⁺
3	140 ⁺⁺	128 ⁺⁺
4	165 ⁺⁺	148 ⁺⁺
5	181 ⁺⁺	154 ⁺⁺
6	179 ⁺⁺	156 ⁺⁺

Tabelle 8. Chemische Bodeneigenschaften nach Bewässerung mit ZFA (1982 und 1983)

Variante	N _t [‰]	C _t [‰]	P	K mg · 100 g ⁻¹	Na 100 g ⁻¹	Ca	Mg	Salz- gehalt [‰]	pH	T- Wert	H- Wert mval · 100 g ⁻¹
1982											
ohne Zusatz- bewäs- serung	0,09	0,74	10,00	15,00	2,7	240	5,00	0,04	6,3	6,80	0,8
1	0,07	0,81	4,98	2,50	10,0	130	6,38	0,12	4,9	5,53	1,4
2	0,08	0,83	6,83	4,25	26,0	240	5,75	0,11	7,2	6,28	0,1
3	0,08	0,88	6,30	4,25	26,6	260	6,58	0,19	7,1	6,75	0,1
4	0,08	0,85	7,10	4,00	25,4	210	6,75	0,12	6,9	6,98	0,1
1983											
ohne Zusatz- bewäs- serung	0,06	0,58	5,6	8,00	2,8	120	5,3	0,02	5,8	4,3	1,6
1	0,06	0,65	4,2	5,00	4,5	80	6,0	0,04	6,1	4,0	1,8
2	0,05	0,65	7,4	24,00	20,3	120	6,1	0,07	6,4	4,6	0,8
3	0,06	0,70	6,9	26,00	22,7	120	6,4	0,08	6,9	4,6	0,1
4	0,05	0,67	7,9	35,00	30,0	120	6,8	0,09	7,0	4,3	0,1
5	0,05	0,64	9,1	37,00	29,5	120	6,4	0,09	7,1	4,6	0,1
6	0,06	0,67	7,4	39,00	34,5	120	6,7	0,10	7,3	4,3	0,2

3.3. Chemische Bodeneigenschaften

Nach Bewässerung mit ZFA wurden für jede Variante aus den Gefäßen Mischproben zur Bestimmung der chemischen Bodeneigenschaften entnommen. Für die Versuchsjahre 1982 und 1983 sind in Tab. 8 die Durchschnittswerte aufgeführt. Sie lassen folgenden Trend der Beeinflussung durch das ZFA erkennen:

- Das austauschbare Natrium wird auf Grund der hohen Na-Gehalte im Abwasser deutlich erhöht und steht im Zusammenhang mit der Abwassermenge.
- Der Salzgehalt sowie der pH-Wert des Bodens nehmen mit der Abwassermenge zu.
- Die P-, K- und Ca-Werte des Bodens liegen bei den Abwasservarianten höher als bei der Klarwasservariante.
- Die Veränderung des T-Wertes nach Bewässerung mit ZFA ist minimal, dagegen nimmt der H-Wert deutlich ab.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In Gefäßversuchen wurde die Wirkung von ZFA auf Keimung, Ertrag, pflanzliche Inhaltsstoffe und chemische Bodeneigenschaften untersucht. Das ZFA wurde aus dem zur Wasserbereitstellung für die Beregnung dienenden Speicherbecken im Zeitraum Februar bis Juli entnommen und weist BSB₅-Werte bis maximal 3800 mg · l⁻¹ O₂ auf. Der N-Gehalt des Abwassers beträgt maximal 51 mg · l⁻¹. Die höchsten BSB₅-Werte liegen infolge des geringen natürlichen biologischen Abbaus während des Winters zu Beginn der Vegetationsperiode vor. Die Ergebnisse zeigen, daß bei bedarfsorientierter Steuerung des Abwassereinsatzes und mittleren BSB₅-Werten bis 1600 mg · l⁻¹ O₂ das ZFA ohne Bedenken zur Bewässerung von Ackergras auf Sandboden zu verwenden ist. Selbst extrem hohe Abwassermengen mit niedrigen BSB₅-Werten werden bei hoher Bewässerungsbedürftigkeit schadlos verwertet. Signifikante Trockenmassemehrerträge bis zu 56 % gegenüber der Klarwasservariante werden erreicht. Aus der Ertragsgestaltung in den einzelnen Aufwüchsen wird die Nährstoffwirkung des Abwassers deutlich. Die geprüften ZFA brauchen auf Grund ihres niedrigen

BSB₅-Gehaltes zur landwirtschaftlichen Abwasserbodenbehandlung nicht mit Klarwasser verdünnt oder künstlich belüftet zu werden. Die pflanzlichen Inhaltsstoffe sowie die Keimung der geprüften Samen werden nicht negativ beeinflusst. Die Veränderung der bodenchemischen Eigenschaften sind nur auf Bedingungen des Gefäßversuches zu beziehen und bedürfen der Prüfung auf gewachsenem Boden unter natürlichen Witterungsbedingungen.

S c h r i f t t u m

- Anonym: Bericht der Abwasserkommission. Z. Verb. Dtsch. Zuckerindustrie **64** (1914).
- Brix, O.: Über die Wasserentziehung und Verunreinigung kleiner Flüsse durch die Rübenzuckerfabriken. Z. Verb. Dtsch. Zuckerindustrie **1** (1851).
- Hulwa, P.: Behandlung und Unschädlichmachung der Abfallwässer der Zuckerfabriken Z. d. Vereins für die Rübenzuckerindustrie d. Dtsch. Reiches **32** (1884).
- TGL 9194: Nutzung und Schutz der Gewässer; rationelle Wasserverwertung in Zuckerfabriken, Behandlung der Abwässer und Verwertung der Rückstände (1984).
- Thormann, A.: Beseitigung und Verwertung von Zuckerfabrikabwasser durch Bodenbewässerung und -filtration. Göttinger Bodenkundl. Ber. **39** (1976) 11–20.

Dr. Sabine Bernsdorf
Dr. Hubert Krause
Dr. Helmut Abdank
Wissenschaftsbereich Standortkunde
DDR - 4020 Halle (Saale)
Ludwig-Wucherer-Straße 2