Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 75 (1983)
Heft: 10

Artikel: Erfahrungen mit selbstansaugenden Belüftern in Belebtschlammanlage
Autor: Schweri, Robert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941289

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: 16.12.2025

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

Erfahrungen mit selbstansaugenden Belüftern in Belebtschlammanlagen

Robert Schweri

Zusammenfassung

Die biologische Abwasserreinigung ist mit einem beträchtlichen Energieaufwand verbunden. Deshalb wird verschiedentlich versucht, durch effizientere Verfahren die Betriebskosten zu senken.
Der nachfolgende Beitrag beschreibt ein Verfahrenskonzept, welches in den letzten Jahren an verschiedenen Orten mit Erfolg angewandt wurde. Anhand der Ergebnisse einer Untersuchung der Universität Stuttgart wird die hohe Leistungsfähigkeit dieses Belebtschlammkonzeptes ersichtlich.
Im ersten Teil sind vorgängig die wichtigsten theoretischen Grundlagen zur Verdeutlichung der Zusammenhänge kurz aufgeführt.

1. Vergleichende Leistungskriterien von Belüftungssystemen

Der Stofftransport im System gasförmig/flüssig wird mit der allgemeinen Gleichung

$$\dot{G} = k_1 A \triangle c$$

beschrieben, in der

- $\dot{G}$ den Massenstrom durch die Phasengrenze,
- k_1 den flüssigkeitsseitigen Stoffübergangskoeffizienten (der gasseitige Stofftransportwiderstand ist vernachlässigbar klein),
- A die Phasengrenzfläche und
- $\triangle c$ die charakteristische Konzentrationsdifferenz

bedeuten.

Werden einige vereinfachte Annahmen gemacht, so ergibt sich

$$\triangle c = c_s - c \quad [1]$$

Belebtschlammanlagen werden üblicherweise mit einer Sauerstoffkonzentration zwischen 0,5 und 1,5 mg/l betrieben. Der Sauerstoffstrom $\dot{G}_{O_2}$ ist also im wesentlichen abhängig vom Stoffdurchgangskoeffizienten k_1 und der erzeugten Phasengrenzfläche A.

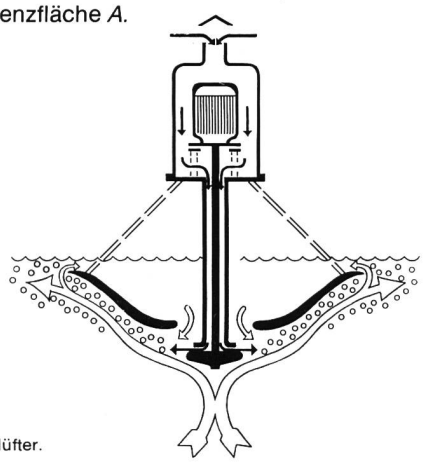

Bild 1. Fuchs-Umwälzbelüfter.

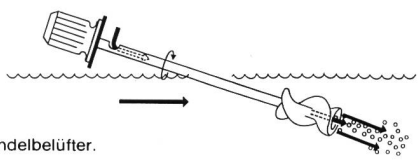

Bild 2. Fuchs-Wendelbelüfter.

Der Stoffdurchgangskoeffizient k_1 ergibt sich aus den Stoffeigenschaften des Systems und der Dicke der flüssigkeitsseitigen Grenzschicht. Die Grenzschichtdicke wiederum hängt von der Zehrungsgeschwindigkeit im Abwasser und dem Strömungszustand, also vom Belüftungssystem ab.
Die erzeugte Phasengrenzfläche ist abhängig vom Belüftungssystem, der Beckenform und der Leistungsdichte. So ist zum Beispiel bei Oberflächenkreiseln

$$\dot{G}_{O_2} \sim (P/V)^{0,2}.$$

- $\dot{G}_{O_2}$ Massenstrom durch die Phasengrenze
- P Eintragsenergie
- V Bezugsvolumen

In der Abwassertechnik war bisher üblich, das Sauerstoffeintragsvermögen

$$O_C = k_1 A c_S \quad [1]$$

bzw.

$$E = O_C / P$$

- E Sauerstoff

eines Belüftungssystems im Reinwasser zu ermitteln. Die Übertragung der Ergebnisse in das Abwasser erfolgt mittels eines allgemeinen Faktors α. Die Erfahrung mit konventionellen Belüftungssystemen hat gezeigt, dass der Faktor α im wesentlichen vom Abwasser abhängt, während Einflüsse des Systems von untergeordneter Bedeutung sind.
Die erzeugte Blasengrösse bei Druckluftbelüftern bzw. die Tropfengrösse bei Oberflächenbelüftern ist in wässrigen Flüssigkeiten weitgehend unabhängig von gelösten Stoffen. Entsprechend kann man annehmen, dass sich die flüssigkeitsseitige Grundschicht im Reinwasser von der im Abwasser nicht wesentlich unterscheidet. Der Faktor α beschreibt demnach hauptsächlich die Änderung des Stoffdurchgangskoeffizienten k_1 beim Übergang vom Reinwasser ins Abwasser.

2. Der Sauerstoffeintrag von Sogbelüftern

Wirkungsweise der eingesetzten Wendelbelüfter

Der schraubenförmige Propeller erzeugt einen Wasserstrahl, der ins Becken hineingerichtet ist. Die Achse des Belüfters ist in spitzem Winkel zur Wasseroberfläche geneigt. Die angesaugte Luft strömt durch die Hohlwelle und tritt am Ende des Wendels aus. Die Verwirbelung der Luft führt zu sehr feinen Blasen, die im Wasserstrahl mit nach unten gerissen werden. Dadurch entsteht eine lange Kontaktzeit wie beim Gegenstrombelüfter, und durch die hohe Turbulenz wird auch eine schnelle Grenzflächenerneuerung erreicht. Der stark gerichtete Strahl führt zu einer Längsströmung im Becken. Für den Einbau sind deshalb Oxidationsgräben besonders geeignet.
Umwälz- und Wendelbelüfter werden auch zum Betrieb von aerob-thermophilen Schlammstabilisationsanlagen eingesetzt.
Betriebserfahrungen und Messwerte aus zahlreichen mit Fuchs-Belüftern (Bilder 1 und 2) ausgerüsteten kommunalen und industriellen Kläranlagen haben gezeigt, dass diese sogenannten Sog- oder Ejektorbelüfter im Abwasser überraschend hohe Sauerstofferträge bzw. Abbauraten erzielen, die deutlich über dem Reinwasserertrag liegen [2].
Wird ein Gas mittels eines schnell drehenden Turbinenrührers in einer Flüssigkeit dispergiert oder zum Beispiel Luft mit einem selbstansaugenden Belüfter feinblasig in

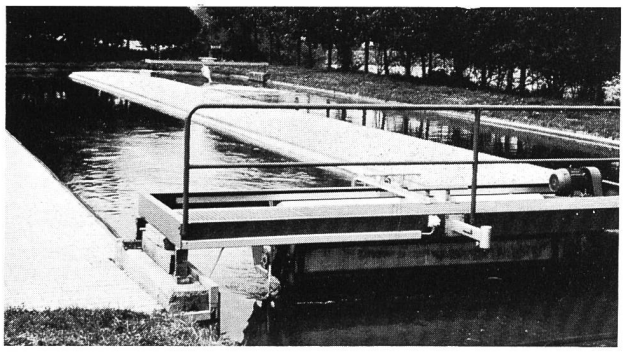

Bild 3. Der Oxidationsgraben der untersuchten Kläranlage.

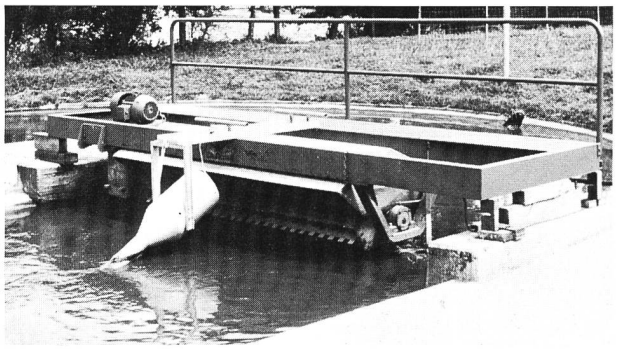

Bild 4. Heute eingesetzter Wendelbelüfter der untersuchten Kläranlage (anstelle der früher betriebenen Bürstenwalze).

Tabelle 1. Messwerte für BSB_5, CSB und SS.

BSB_5					CSB					Suspendierte Stoffe	
Zulauf		Ablauf		Abnahme	Zulauf		Ablauf		Abnahme	Ablauf	
mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	%	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	%	mg/l	kg/d
51,6	158,88	4,9	15,09	90,5	128,5	395,7	20,5	63,1	84,0	9,5	29,25
91,0	283,47	6,5	20,25	92,9	175,0	545,1	30,7	95,6	82,5	7,1	22,12
55,1	241,23	15,3	66,98	72,2	104,2	456,2	45,4	198,8	56,4	53,0	232,03
76,7	260,32	7,0	23,76	90,9	226,9	770,1	30,9	104,9	86,4	17,4	59,06
	943,90		126,08	86,6		2167,1		462,4	78,7		342,46
68,6	235,98	8,4	31,52		158,7	541,8	31,9	115,6		11,3 (TW)	36,81
										53,0 (RW)	232,03

Tabelle 2. Messwerte für $N_{ges.}$, NH_4 – N, No_3 – N und NO_2 – N.

Datum	N_{ges}					NH_4-N				NO_3-N		NO_2-N	
	Zulauf		Ablauf		Abnahme	Zulauf		Ablauf		Ablauf		Ablauf	
	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	%	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d
17.4.	27,8	85,60	19,0	58,50	31,7	0	0	0	0	7,3	22,48	1,1	3,39
18.4.	26,1	81,30	17,4	54,20	33,3	0	0	0	0	6,0	18,69	1,75	5,45
19.4.	19,3	84,50	12,3	53,85	36,3	4,1	17,95	1,82	7,97	4,9	21,45	5,0	21,89
20.4.	27,2	92,32	11,5	39,03	57,7	6,4	21,72	3,2	10,86	2,7	9,16	1,62	5,5
Summe		343,72		205,58	40,2		39,67		18,83		71,78		36,23
Mittel	25,1	85,93	15,1	51,40		2,6	9,92	1,3	4,71	5,2	17,95	2,4	9,06

Wasser oder Abwasser eingetragen, dann ist nicht nur der Stoffdurchgangskoeffizient k_1, sondern auch die erzeugte Phasengrenzfläche A von den Stoffeigenschaften des Systems entscheidend abhängig.

In der chemischen Technik ist schon seit langem bekannt, dass die Grösse der erzeugten Blasen bei der Begasung wässriger Flüssigkeiten im Rührkessel stark von der Konzentration gelöster Salze beeinflusst wird. Bei Gleichheit aller übrigen Bedingungen kann der mittlere Blasendurchmesser in den Ionenlösungen 3 bis 5 Mal kleiner sein als in reinem Wasser [3].

Bei der Begasung wässriger Ionenlösungen mit einem selbstansaugenden Belüfterrührwerk wurde gefunden, dass sich der Sauerstoffeintrag im Vergleich zu reinem Wasser bis auf das 8fache erhöhte. Die vom Belüfter erzeugten feinen Primärgasbläschen ($d < 0{,}5$ mm) schliessen sich in reinem Wasser zu grösseren Blasen ($d = 3$ bis 5 mm) zusammen, sobald sie den Nahbereich des Rührers verlassen haben. Durch diese Blasenkoaleszenz wird die ursprünglich erzeugte Phasengrenzfläche auf ⅙ bis ⅛ vermindert.

Bei der Anwesenheit von Ionen hingegen bilden sich um die Primärgasbläschen elektrische Doppelschichten aus, die bewirken, dass die Gasblasen negativ beladen und damit in ihrer Koaleszenzfähigkeit behindert werden [4].

Auch im Wasser gelöste unpolare organische Verbindungen wie Glucose oder Lactose, polare Verbindungen wie zum Beispiel Alkohole und organische Säuren verhindern

Tabelle 3. Messwerte der wichtigsten Grössen im Belebungsbecken.

Dat.	Durchfl.	Belüfter	Belebungsbecken							
	Q	Strom-verbr.	TS	oTS	VS_R	I_{sv}	mittl. O_2-Geh.	B_{TS}	B_R	pH
	m^3/d	kWh/d	g/l	%	ml/l	mg/l	mg/l	kg/(kg d)	kg/(m^3 d)	-
17.4.	3079	141,5	4,92	48,78	225	46	0,82	0,12	0,57	7,33
18.4.	3115	180,2	3,98	50,50	185	47	0,36	0,25	1,01	7,43
19.4.	4378	158,6	3,82	54,97	190	50	1,16	0,23	0,86	7,50
20.4.	3394	167,6	4,00	49,53	145	36	0,26	0,23	0,93	7,34
21.4.[1)]	--	--	(6,51)	(44,09)	(240)	(37)	--	--	--	7,34
Summe	13966	647,3								
Mittel	3492	162,0	4,18	50,95	186	45	0,65	0,20	0,84	

1) im Mittelwert nicht berücksichtigt.

Tabelle 4. Messwerte im Überschuss-Schlamm.

Datum	Ueberschussschlamm							
	Üs-Menge		TS	oTS	N_{ges}		CSB	
	m^3/d	kg/d	g/l	%	mg/g	kg/d	mg/g	kg/d
17.4.	8,0	489,1	61,14	40,63	31,5	15,41	287	140,4
18.4.	8,0	464,8	58,10	40,76	32,2	14,97	447	199,6
19.4.	8,0	461,1	57,64	41,05	32,4	14,94	409	188,6
20.4.	8,0	361,9	49,52	42,12	32,4	11,73	375	135,7
Summe	32,0	1776,9				57,05		664,3
Mittel	8,0	444,2	56,63	41,14	32,1	14,26	0,374	166,1

Tabelle 5. O_2-Werte für Verbrauch, Zufuhr und Ertrag nach drei bekannten Berechnungsmodi.

Berechnungssatz für O_2-Verbrauch	O_2-Verbrauch OV_R kg/d	O_2-Zufuhr (Betrieb) OC kg/d	O_2-Ertrag (Betrieb) OP kg/kWh
Beuthe	363,6	389,1	2,40
ATV-Handbuch	363,2	388,6	2,40
v.d. Emde u. Kroiss	322,8	345,4	2,13

weitgehend die Blasenkoaleszenz [5/6].

In realen Abwässern sind eine Vielzahl organischer und anorganischer Stoffe gelöst, die eine Koaleszenz feiner Gasblasen vermindern oder unterdrücken.

Nach verschiedenen Beobachtungen hat insbesondere auch der Belebtschlamm, der ja bekanntlich zugleich ein grenzflächenaktiver Feststoff (Adsorption, Flockung) und der eigentliche Ort des Stoffumsatzes ist, entscheidenden Einfluss auf das Koaleszenzverhalten in einem Belebungsbecken.

Bei der Belüftung von Abwasser mit selbstansaugenden Belüftern steht der Verminderung des Stoffdurchgangskoeffizienten k_1 durch gelöste Schmutzstoffe eine Vervielfachung der Phasengrenzfläche A gegenüber, so dass der Sauerstoffertrag unter Betriebsbedingungen im allgemeinen deutlich höher ist als im Reinwasser.

Der herkömmliche «Reinwassertest» liefert also keine Ergebnisse, die das Sauerstoffeintragsvermögen der selbstansaugenden Belüfter unter Betriebsbedingungen hinreichend charakterisiert.

Bereits 1978 wurde bei Untersuchungen durch die TU Hannover festgestellt, dass der «Fuchs-Wendelbelüfter» im Abwasser einen wesentlich höheren Sauerstoffertrag erbringt als im Reinwasser, der α-Wert wurde mit 2,8 errechnet [7].

3. *Betriebsergebnisse aus der Praxis*

Die Ergebnisse der nachfolgend beschriebenen Untersuchung bestätigen einmal mehr die oben erläuterten Thesen [8].

Um den Sauerstoffertrag der Belüfter unter Betriebsbedingungen zu ermitteln, wurden eine Bilanz der Zu- und Ablauffrachten (BSB_5, CSB, N) erstellt, der Stromverbrauch der Belüfter sowie weitere Betriebsparameter erfasst. Die Untersuchungen wurden an 4 zusammenhängenden Tagen vom 17. bis 20. April 1983 durchgeführt.

Beschreibung der Kläranlage

Verfahrensschritte

Rechen, Sandfang, Belebungsbecken (Oxidationsgraben V_{BB} = 280 m³), Nachklärbecken, aerob-thermophile Schlammbehandlung.

Angeschlossene Einwohner

etwa 4000 EGW (Mischkanalisation)

Belüftung

4 Fuchs-Wendelbelüfter à 2,5 kW Leistungsaufnahme (früher Bürstenwalzen)

Messmethodik

Die gereinigte Abwassermenge wird im Auslauf mit einem Venturikanal und einem Ultraschall-Echolot kontinuierlich gemessen.

Die Ermittlung der Schmutzfrachten im Zu- und Ablauf erfolgte mit 2 automatischen Probensammlern mit wassermengenproportionaler Steuerung.

Für die Entnahme der Ablaufproben stand ein 24-Stunden-Probensammler mit Ansteuerung über die fest installierte Abflussmessung zur Verfügung.

Da neben den Zu- und Ablauffrachten auch noch die Menge des Überschussschlammes in die Sauerstoffbilanz eingeht, wurde bei jedem Überschussschlammabzug aus dem voreingedickten Schlamm eine Mischprobe, bestehend aus mehreren Einzelproben entnommen.

Die wichtigsten Ergebnisse

Die detaillierten Einzeldaten gehen aus den Tabellen 1 bis 4 hervor. Spezielle Erwähnung verdienen der Stromverbrauch und der Sauerstoffertrag.

Die im Oxidationsgraben abgebaute BSB_5-Fracht betrug im Mittel 204,5 kg/d, wofür die Belüfter 162,0 kWh/d verbrauchten. Daraus errechnet sich ein spezifischer Stromverbrauch von 0,79 kWh/kg abgebautem BSB_5.

Die abgebaute CSB-Fracht betrug im Mittel 426,2 kg/d. Berücksichtigt man, dass im Überschussschlamm eine CSB-Menge von 166,1 kg/d enthalten ist, die nicht oxidiert wurde, so ergibt sich eine tatsächlich veratmete CSB-Fracht von 260,1 kg/d, woraus sich ein spezifischer Stromverbrauch von 0,62 kWh/kg abgebauter CSB errechnen lässt.

Für die Sauerstoffertragswerte unter Betriebsbedingungen sind drei verschiedene bekannte Berechnungssätze aufgeführt (Tabelle 5) [9, 10, 11].

Schlussfolgerungen

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass der Reinwassereintragswert, als vergleichendes Kriterium von Belüftungssystemen, für die Sogbelüfter, wie sie von Fuchs gebaut werden, nicht anwendbar ist. Die herkömmlichen Berechnungsweisen werden diesem äusserst effizienten Belüftungssystem keineswegs gerecht.

Literaturhinweise

[1] *Zlokarnik M.:* Eignung und Leistungsfähigkeit von Oberflächenbelüftern für biologische Abwasserreinigungsanlagen. «Korrespondenz Abwasser» 1/80.

[2] *Fuchs H., W.* und *L.:* Zum Sauerstoffübertragungsfaktor von Ejektorbelüftern. «Korrespondenz Abwasser» 9/78.

[3] Ullmanns Encyclopädie der techn. Chemie: Rührbehälter für Gas-Flüssig-Reaktionen. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstrasse.

[4] *Zlokarnik M.:* Einfluss einiger stofflicher und verfahrenstechnischer Parameter auf den Sauerstoff-Eintrag bei der Abwasserbelüftung. «Chemie-Ing.-Techn.» 7/75.

[5] *Zlokarnik M.:* Koaleszenzphänomene im System gasförmig/flüssig und deren Einfluss auf den O_2-Eintrag bei der biologischen Abwasserreinigung. «Korrespondenz Abwasser» 11/80.

[6] *Grasshoff A.:* Über den Eintrag von Sauerstoff in wässrige Fermentationsmedien mit Hilfe selbstansaugender Begasungsrührer. Dissertation TU Berlin 1978.

[7] *Rüffer H.:* Untersuchung und Beurteilung von zwei mit Fuchs-Wendelbelüftern ausgerüsteten Schlammbelebungsanlagen. Sonderübung TU Hannover, 12. September 1978.

[8] *Krauth K.:* Bericht über die Untersuchung des Sauerstoffeintrages von Fuchs-Wendelbelüftern.

[9] *Beuthe C. G.:* Über den Sauerstoffbedarf bei der biologischen Abwasserreinigung nach dem Belebtschlammverfahren. «gwf – wasser/abwasser» 12/70.

[10] ATV: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band II, 2. Aufl. 1975.

[11] *v. d. Emde W., Kroiss H.:* Neuere Aspekte des Belebungsverfahrens. Vortrag ATV-Fortbildungskurs 1981.

Adresse des Verfassers: *Robert Schweri,* Cetec-Engineering AG, Schiffmühle 4, 5300 Turgi.

Abwassersanierung Hoher Kasten: Leitungsbau in schwierigem Gelände

Einleitung

Im Jahre 1964 wurde ein neues Hotel neben dem bestehenden Bergrestaurant Hoher Kasten gebaut. Gemäss den damals geltenden gesetzlichen Bestimmungen erstellte man vor dem Hotel eine Patentklärgrube. Der Überlauf des nur zu einem kleinen Teil gereinigten Abwassers floss in einer Kunststoffleitung ab, die bis etwa 30 m unterhalb des Staubernwegs gelegt wurde. Die Leitung führt durch den Fels, was eine Kernbohrung von etwa 30 m notwendig machte. Das Überwasser versickerte unterhalb des Staubernweges in einer Geröllhalde. Lästige Geruchsimmissionen waren die Folge. Obwohl das versickernde Abwasser die weiter unten liegende Quellfassung nicht verschmutzte, musste im Extremfall doch mit einer Verunreinigung des Grundwassers gerechnet werden. Eine Sanierung auf dem Stand der heutigen Technik drängte sich auf.

In Zusammenarbeit mit den Gewässerschutzämtern Altstätten und Appenzell suchte man nach einer besseren Lösung. Aus verschiedenen untersuchten Möglichkeiten wurde die Ableitung der Abwässer zur Kläranlage Brülisau gewählt. Dazu wird eine 3450 m lange Abwasserleitung zur Kläranlage, die 860 m tiefer liegt, nötig.

Schrittbagger und Helikopter

Das schwierigste Teilstück dieser Leitung befindet sich zwischen der Kastenwand und der Alp Soll. Die Länge beträgt etwa 800 m, und ein Gefälle bis zu 90 Prozent war zu bewältigen. Fast auf der ganzen Länge konnte der Graben bis auf die Felsoberfläche mit einem Schrittbagger der Firma Menzi-Muck, Widnau, ausgehoben werden. Bei diesem Bagger handelt es sich um einen Prototyp mit einem Gesamtgewicht von nur 2,5 t. Im Steilgebiet betrug die Gesamttiefe des Grabens etwa 80 cm. Im Flachgebiet 120 cm (Frosttiefe).

Ausgehoben wurde von oben nach unten, um zu verhindern, dass der Graben verschüttet wird. Der Bagger wurde mit Stahlseilen von oben gesichert. Von Sprengungen wurde abgesehen, um keine Erdrutsche auszulösen. Felsmaterial wurde, wo notwendig, mit Kompressoren abgebaut. Alle 2 bis 3 m wurden drei Rundeisen mit einem Durchmesser von 30 mm im Felsen verankert, damit das aufgefüllte Material nicht abrutscht. Auch konnten die eingelegten Rohre an diesen Eisen befestigt werden. Ungefähr alle 10 bis 20 m wurde ein Betonriegel erstellt, damit der Graben durch Wasser nicht ausgespült werden kann. Diese Querriegel dienen als Barriere, bei der das Wasser