**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 82 (1990)
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Sanierung des Zugersees
**Autor:** Rupper, Eduard / Schramm, Theodoro / Brömstrup, Heiner
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-939786

**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:** 01.07.2025

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

# Sanierung des Zugersees

*Eduard Rupper, Theodoro Schramm, Heiner Brömstrup*

*Die drei Verfasser haben in einer Arbeitsgemeinschaft (Arge Sesan) ein Verfahren zur Sanierung des Zugersees erarbeitet, das im folgenden vorgestellt wird.*

## 1. Beschleunigte Seeneutrophierung und die Folgen

Die Seeneutrophierung (griechisch: eu = gut; trophe = Nahrung) ist ein Prozess der zunehmenden Anreicherung stehender Gewässer mit Pflanzennährstoffen. Jeder See entwickelt sich aufgrund seiner positiven Nährstoffbilanz zu einem eutrophen See. Eine sich in grossen Zeiträumen vollziehende «natürliche Eutrophierung» kann jedoch durch zivilisatorische Einflüsse (verstärkte Einleitung von ungeklärtem und geklärtem Kommunal-, Gewerbe-, Industrie- und Landwirtschaftsabwasser einschliesslich Oberflächenwasser aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten) enorm beschleunigt werden. Dieser von einigen Jahrtausenden auf wenige Jahre oder Jahrzehnte verkürzte Prozess kann mit dem Begriff «rasante Eutrophierung» belegt werden.

Als Initialfaktoren für alle Eutrophierungserscheinungen gelten nach einheitlicher Auffassung erhöhte Konzentrationen von Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Die Aufnahme von Stickstoff und Phosphor als Nährstoffe für Planktoalgen steht im molaren Verhältnis von 16:1. Sobald dieses Verhältnis überschritten wird, spielt Stickstoff für das Eutrophierungsgeschehen keine wesentliche Rolle mehr. Damit wird der Phosphor zum begrenzenden Faktor für Eutrophierungserscheinungen.

Die aufgrund der zunehmenden Nährstoffanreicherung im oberen Teil des Sees (Epilimnion) gebildete Biomasse sedimentiert als «organischer Detritus» und wird während des Absinkens und nach der Ablagerung am Seegrund von den Gewässerbakterien abgebaut, wobei der Sauerstoff schneller aufgezehrt wird, als er nachdiffundieren kann. Es bildet sich allmählich ein grosser sauerstofffreier Bereich im unteren Teil des Sees (Hypolimnion) aus. Hier wird Phosphor durch die Mineralisation des organischen Materials wieder freigesetzt und für den gesamten See verfügbar. Zu dem fortwährenden Eintrag an Phosphor ($PO_4$-P) in den See kommt also ein weiterer Anteil aus dem internen Kreislauf. Durch diese interne Rückdüngung wird die Biomassenproduktion zusätzlich angeregt und der Sauerstoffverbrauch noch mehr erhöht. Der See wird zur Phosphorfalle und «stirbt».

## 2. Das Verfahren der Arge Sesan zur Sanierung bzw. Wiederherstellung des Zugersees

Der Zugersee ist seit Jahren ein eutrophes Gewässer. Seine Wasserqualität entspricht bei weitem nicht den heutigen Anforderungen des Gewässerschutzes. Darüber hinaus haben sich in den letzten Jahren die Eutrophierungsprozesse derart stark beschleunigt, dass seine Sanierung bzw. Wiederherstellung dringend erforderlich ist. Rufe nach einer Verbesserung der Verhältnisse im Zugersee werden immer lauter.

Ziel der Sanierung bzw. Wiederherstellung des Zugersees nach dem Verfahren der Arge Sesan ist es, durch ein Zusammenwirken von seeexternen und seeinternen Massnahmen die «rasante Eutrophierung» wieder zu verlangsamen bzw. den Zugersee ohne Gefährdung und Störung des Seekörpers zu niedrigeren Trophiegraden (das heisst in den früheren, besseren Seezustand) zurückzuführen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das Phosphorangebot ($PO_4$-P) im Zugersee durch verminderten Eintrag (seeexterne Massnahmen) und erhöhten Austrag (seeinterne Massnahmen) zu verringern ist. Durch die damit verbundene Verringerung des Nährstoffangebotes wird die Nährstoffspirale aufgebrochen. Der Sauerstoffverbrauch im See sinkt, so dass sich die Sauerstoffkonzentrationen, die heute z.B. zu Beginn der Stagnationsphase im Frühling regel-

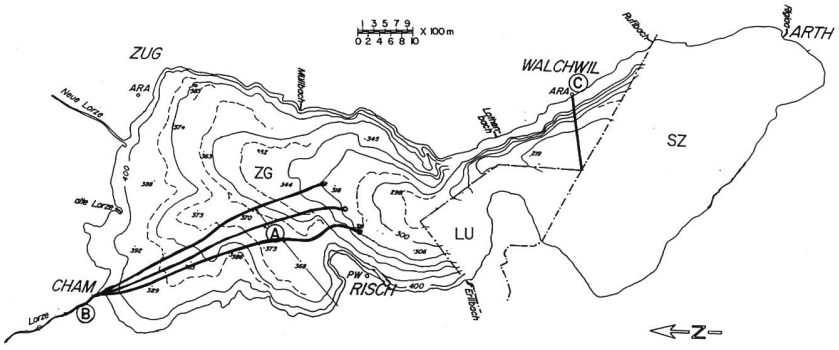


Bild 1. Lageplan der Basisanlagen nach dem Verfahren Arge Sesan auf Zuger Gebiet.

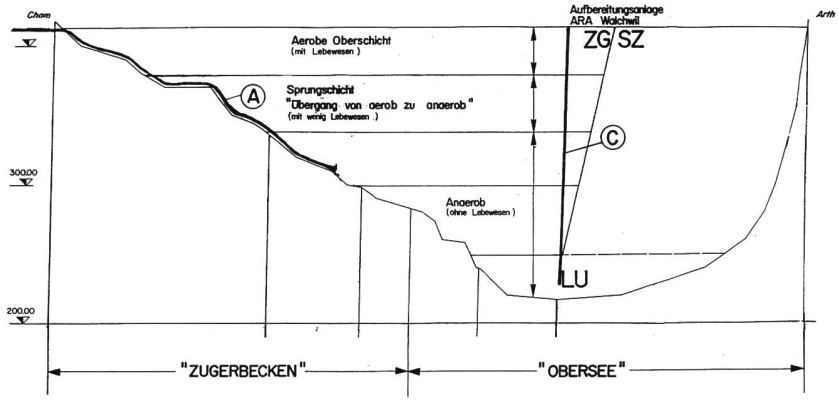


Bild 2. Längsschnitt durch den Zuger Teil des Zugersees mit den Entnahmestellen von Tiefenwasser.

A Ableitung von Tiefenwasser aus 80 bis 120 m Tiefe *(Q = 3,5 m³/s)*, Leitungslänge 3 × ca. 5,4 km

B Regulierung des Seestandes

C Aufbereitung von Tiefenwasser aus 170 m Tiefe *(Q = 0,6 m³/s)*, Leitungslänge 1 × ca. 1,3 km

mässig zu niedrig sind, wieder zu den früheren, ausreichenden Werten hin entwickeln werden; ein gesonderter Sauerstoffeintrag ist nicht notwendig.

### *Seeexterne Massnahmen verringern Nährstoffeintrag auf das erforderliche Mass*

Zur Verringerung des seeexternen Phosphoreintrages ($PO_4$-P) in den Zugersee ist der wesentliche Schritt in die richtige Richtung bereits getan worden (Ringkanalisation fertiggestellt). Bezüglich der Führung einer mehr rationalen Düngewirtschaft und der Wahl optimaler Bewirtschaftungsmethoden von landwirtschaftlich genutzten Flächen müssen Anstrengungen noch intensiviert werden, damit der Phosphoreintrag ($PO_4$-P) in den kommenden Jahren auch tatsächlich auf das erforderliche Mass von etwa 10 t $PO_4$-P (etwa die Hälfte des heutigen Eintrages) zurückgeführt werden kann.

### *Seeinterne Massnahmen erhöhen Nährstoffaustrag ohne Gefährdung und Störung des Seekörpers*

Das Verfahren der Arge Sesan umfasst nur solche seeinterne Massnahmen, die den Zugersee auf natürliche Art und Weise in den früheren, besseren Seezustand zurückführen werden. Um den Phosphoraustrag ($PO_4$-P) aus dem Zugersee ohne Gefährdung und Störung des Seekörpers zu erhöhen, bieten sich nach Auffassung der Arge Sesan zwei Hauptmassnahmen und eine Zusatzmassnahme an:

- Ableitung von Tiefenwasser über die Lorze einschliesslich Seeregulierung als erste Massnahme
- Aufbereitung von stark belastetem Tiefenwasser in einer Seewasseraufbereitungsanlage als zweite Massnahme
- Reinigung des Seegrundes in Uferbereichen als Zusatzmassnahme

Diese drei seeinternen Massnahmen bilden zusammen mit den schon weitgehend in Angriff genommenen seeexternen Massnahmen den Kern der Zugerseesanierung nach dem Verfahren der Arge Sesan.

Unter der Voraussetzung, dass die Phosphorzufuhr auf das erforderliche Mass von 10 t $PO_4$-P pro Jahr langfristig verringert werden kann und die Inbetriebnahme von Tiefenwasserableitung und Aufbereitung des stark belasteten Tiefenwassers in einer Seewasseraufbereitungsanlage gleichzeitig erfolgt, kann in etwa 20 Jahren die heute im Zugersee befindliche Phosphormenge von etwa 500 t $PO_4$-P aus dem See ausgetragen werden. Die mittlere Phosphorbelastung wird ohne Berücksichtigung des internen Kreislaufes (Phosphormobilisierung) nach etwa 20 Jahren Betriebszeit von heute etwa 0,160 mg/l auf etwa 0,060 mg/l $PO_4$-P zurückgehen. Bei längerer Betriebszeit als 20 Jahre wird der Zugersee langsam die mittlere Phosphorbelastung des Zulaufs von 0,045 mg/l $PO_4$-P annehmen. Sollte es im Verlaufe der Zeit gelingen, die Phosphorzufuhr auf etwa 7 t $PO_4$-P pro Jahr zu verringern, dann wäre nach 30 bis 35 Jahren sogar mit einer mittleren Phosphorbelastung des Zugersees von etwa 0,030 mg/l $PO_4$-P zu rechnen.

Die langen Regenerierungszeiten von 20 und mehr Jahren sind gewollt bzw. unbedingt notwendig, weil nur sie garantieren, dass sich Flora und Fauna den sich über die Zeit ständig ändernden Bedingungen im See (bis hin zum früheren, besseren Zustand) stets auf natürliche Art und Weise anpassen können.

Die drei seeinternen Massnahmen können ausschliesslich auf Zuger Kantonsgebiet durchgeführt werden.

#### *Ableitung von Tiefenwasser über die Lorze einschliesslich Seeregulierung als erste Massnahme*

Der Lebensraum der Fische und der weiteren Lebewesen im Zugersee reicht nach Aussagen der Fischer bis etwa 80 m Seetiefe. Um diesen Lebensraum zu sichern, wird Tiefenwasser aus einer Seetiefe zwischen 80 und 120 m mit Hilfe von drei Grossrohrleitungen aus Polyethylen (PE-HD) über die Lorze abgeleitet.

Die drei Grossrohrleitungen sind so dimensioniert, dass sie die Hälfte des langjährigen mittleren Zugersee-Jahresabflusses von $Q = 3{,}5\ m^3/s$ ableiten können. Damit beträgt das Mischungsverhältnis Tiefenwasserabfluss zum Oberflächenwasserabfluss etwa 1:1. Der Gesamtabfluss des Zugersees weist unter diesen Bedingungen eine maximale Phosphorbelastung von etwa 0,1 mg/l $PO_4$-P auf, die sich jedoch im Verlaufe der Zeit immer weiter verringert, so dass einer Ableitung über die Lorze keine Bedenken entgegenstehen dürften.

Mit der Tiefenwasserableitung ist die Regulierung des Zugersees zwingend verbunden, so dass auf den zur Ausführung vorgesehenen Entlastungsstollen Zugersee–Reuss, der auch die Regulierung des Sees zum Ziel hatte, verzichtet werden kann.

Ohne grosse Veränderungen des heutigen Zustandes der Lorze ist es möglich, durch Umbau der ersten beiden bestehenden Kraftwerke den See zu regulieren, das Seewasser aus einer Tiefe von 80 bis 120 m zum Nulltarif zu entnehmen und dabei noch mindestens den bisher von beiden Kraftwerken abgegebenen Strom zu erzeugen.

Der Spiegel des Zugersees wird auf etwa 413,8 m ü.M. gehalten, die Schwankungen sind in der Grössenordnung von ±20 cm.

Die Anlagen für die Wasserentnahme aus einer Tiefe von 80 bis 120 m und für die Seeregulierung sind weitgehend automatisiert und benötigen wenig Betriebsaufwand.

#### *Aufbereitung von stark belastetem Tiefenwasser in einer Seewasseraufbereitungsanlage als zweite Massnahme*

Zur Behandlung des stark belasteten Tiefenwassers ab etwa 120 m Seetiefe wird eine Seewasseraufbereitungsanlage vorgesehen.

Das Tiefenwasser wird im südlichen Teil des Zugersees aus etwa 170 m Tiefe entnommen und zur stillgelegten ARA Walchwil mit Hilfe einer Rohrleitung mittleren Durchmessers aus Polyethylen (PE-HD) geführt.

Im Auftrag der Arge Sesan wurden aus verschiedenen Tiefen des Zugersees unterhalb der 100-m-Marke Wasserproben entnommen und in einem verfahrenstechnischen Laboratorium untersucht, das einer grossen, bereits seit einigen Jahren mit Erfolg arbeitenden Aufbereitungsanlage angegliedert ist.

Die Untersuchungsergebnisse aller Proben führten zum gleichen Schluss, dass das stark belastete Tiefenwasser des Zugersees mit Hilfe von Seewasseraufbereitungsanlagen gereinigt werden kann (Phosphoreliminierungsrate z.B. über 95%). Eine Geruchsbelästigung durch das Tiefenwasser tritt nicht auf, da es bereits in der PE-HD-Rohrleitung mit Sauerstoff vorbehandelt wird und Restgase vor Eintritt des Tiefenwassers in die Seewasseraufbereitungsanlage abgesaugt und neutralisiert werden.

Nach den bisherigen Erkenntnissen spricht auch nichts dagegen, das von der Seewasseraufbereitungsanlage behandelte Tiefenwasser direkt wieder, gleich Oberflächenwasser, in den See einzuleiten.

Mit der vorgesehenen Seewasseraufbereitungsanlage in Walchwil können 0,6 $m^3/s$ stark belastetes Tiefenwasser gereinigt werden. Eine Erweiterung durch eine zweite Anlage auf die doppelte Reinigungsleistung ist möglich.

Die Betriebskosten einer Seewasseraufbereitungsanlage sind in starkem Masse abhängig von der Auslegung der An-

lage und der Beschaffenheit des aufzubereitenden Tiefenwassers. Je gleichmässiger das Tiefenwasser in seiner Zusammensetzung ist, desto kostengünstiger kann es aufbereitet werden.

*Reinigung des Seegrundes in Uferbereichen als Zusatzmassnahme*

Durch Absaugen des Schlammes an bestimmten Seeuferbereichen mit mobilen Anlagen können Laichplätze verschiedener Fische schneller wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden. Im Rahmen des Gesamtprogrammes der Zugerseesanierung wird es sich erweisen, ob die Aufbereitung des beim Absaugen anfallenden Schlammes nötig sein wird.

## 3. Programm für die Sanierung bzw. Wiederherstellung des Zugersees nach dem Verfahren der Arge Sesan

Die notwendigen seeexternen Massnahmen sind bereits weitgehend in Angriff genommen worden. Die Anstrengungen zur Erreichung weiterer Fortschritte sind zu intensivieren.

Die vorgesehenen seeinternen Massnahmen sind verfahrenstechnisch erprobt und können bautechnisch bewältigt werden. Für Spezialarbeiten stehen Ingenieure und Firmen mit grosser Erfahrung zur Verfügung.

Die Arge Sesan ist in der Lage, das Bauprojekt mit Kostenvoranschlag für die erste Massnahme – Ableitung von Tiefenwasser über die Lorze einschliesslich Seeregulierung – innerhalb eines Jahres zu erstellen, wobei konventionelle Ingenieurarbeiten durch Firmen aus der Region erledigt werden. Nach Krediterteilung werden etwa zwei Jahre für die Bauausführung benötigt. Die Vorarbeiten für die Seewasseraufbereitungsanlage können parallel dazu durchgeführt werden; es ist aber mit einem grösseren Zeitaufwand für Bauprojekt und Kostenvoranschlag zu rechnen.

Die installationstechnischen und baulichen Massnahmen für beide Projektteile können etwa vier Jahre nach Auftragserteilung abgeschlossen werden, so dass nach weiteren sechs bis acht Jahren bereits mit einem wesentlich verbesserten Zustand des Zugersees zu rechnen ist.

Der Gesamtaufwand für die Sanierung bzw. Wiederherstellung des Zugersees nach dem Verfahren der Arge Sesan bewegt sich gemäss einer ersten Schätzung in der Grössenordnung von 25 bis 30 Mio Franken. Alle Anlagen können langzeitig betrieben werden, ihre Wirksamkeit kann stets durch Umstellung an die veränderten Verhältnisse im See angepasst werden.

Adresse der Verfasser: *Eduard Rupper,* dipl. Ing. ETH, SIA, Alpenstrasse 9, CH-6300 Zug, *Theodoro Schramm,* Dir., Kunststoffspezialist, Bergstrasse 23, CH-8702 Zollikon ZH, *Heiner Brömstrup,* Dipl.-Ing. TU, Internationale Ingenieurberatung, Spechtshorner Strasse 24, D-3101 Hohne b. Celle.

# Wertstoffe und Wasser aus Gülle

*Zwischenbericht einer Ausschreibung*

In der Bundesrepublik Deutschland fallen jährlich etwa 240 Mio t feste und flüssige Exkremente aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung an, davon mehr als 200 Mio t Gülle. Die Landwirte benutzen Gülle zur Pflanzendüngung und Bodenverbesserung, denn sie enthält wertvolle organische Substanzen und Pflanzennährstoffe. Zugleich ist diese Art der Gülleverwertung für die seit Jahren stetig zunehmende Nitratbelastung des Grundwassers mitverantwortlich. Eine unerwünschte Grundwasserbeeinträchtigung durch Nährstoffauswaschungen entsteht durch übermässigen Einsatz und vor allem durch die Ausbringung zum ungeeigneten Düngezeitpunkt.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) startete am 25. Mai 1989 einen *Forschungswettbewerb für Techniken zur Gülleaufbereitung,* mit dem neue Techniken und Lösungssätze stimuliert werden sollen. Verfahrenskonzepte, zur Anwendungsreife entwickelt, sollen technische Machbarkeit und Leistungsfähigkeit in Demonstrationsvorhaben nachweisen; hierbei geht es vor allem um:

- *systemintegrierte Flüssigmistaufbereitung und -verwertung* bei der landwirtschaftlichen Tierhaltung in grossen Einheiten;
- *regional zentralisierte Aufbereitung des Flüssigmistes* von Einzelbetrieben einschliesslich der Produktverwertung;
- bessere Verfahren und Methoden, die von einzelnen *kleineren Betrieben* angewandt werden können.

Über 200 Interessenten forderten bis zum Ende der Ausschreibungsfrist am 31. August 1989 Bewerbungsunterlagen an, 81 Projektvorschläge wurden eingebracht. Sie wurden nach verschiedenen Kriterien mit einem Gutachterausschuss bewertet. Das Ergebnis:

- *Acht Projektvorschläge* mit integrierten Gesamtlösungen für das Gülleproblem wurden positiv begutachtet. Die Antragsteller werden nunmehr vom BMFT aufgefordert, konkrete Anträge auszuarbeiten. Ob und in welchem Umfange dann diese Projekte gefördert werden, hängt von den Anträgen ab, die möglichst bis Ende Februar 1990 abzugeben sind. In eine zweite Kategorie wurden *12 Projektvorschläge* mit interessanten Technologieentwicklungen eingestuft. Sie bieten zwar keine Gesamtlösung des Gülleproblems, jedoch technisch interessante Bausteine für integrierte Gesamtlösungen. Diese Vorschläge sollen jetzt ebenfalls durch Anträge untermauert werden.
- Weiterhin wurde empfohlen, eine Reihe von Projektvorschlägen in ein *Verbundprojekt «Umweltgerechter Gülleeinsatz»* einzubringen. Dabei geht es um sogenannte *Einfachverfahren als einzelbetriebliche Lösung* für einen besseren und umweltverträglicheren Gülleeinsatz sowie um die *Umweltverträglichkeit neuartiger Gülleprodukte* und um *pflanzenbedarfsgerechte Düngung.* Koordinator des Verbundvorhabens ist das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft in Darmstadt, das vom BMFT aufgefordert wurde, die vorliegenden Projektvorschläge zu einem Gesamtprojekt zu bündeln und zu einer erneuten Begutachtung vorzulegen.

Das positive Echo auf die Ausschreibung zeigt, dass nunmehr ein Wettbewerb eingeleitet ist, um das Gülleproblem auf die technisch beste und wirtschaftlichste Art zu lösen. Eine einheitliche Bewertung, auch im Verlauf der Forschungsprojekte, soll sicherstellen, dass alle Erfahrungen im Vergleich ausgewertet werden.

Nachdem nun als erste Runde die Gülleausschreibung abgeschlossen ist, müssen jetzt die Antragsteller ihre Ideen zu einem konkreten Antrag vertiefen.

BMFT, Pressereferat, Postfach 200240, D-5300 Bonn 2.