



A study commissioned by the VSA

Evaluation of the energy and cost figures of processes
for the elimination of micropollutants in wastewater
treatment plants

Technical report

Object no. 1490.26

Winterthur, 28th September 2024

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Imprint:

Project name: Evaluation of the energy and cost figures of processes for the elimination of micropollutants in wastewater treatment plants

Cover picture: Technical installations of the sand filter at the Morgental WWTP

Creation date: 28th September 2024

Last change: 28th September 2024

Author: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur

Tel. 052 234 50 50
E-mail: info@hunziker-betatech.ch

Noah Joller
Thomas Hug

Expert group: Nathalie Hubaux, ARA Neugut
Ingo Schoppe, ARA Thunersee
Thomas Bhend; ARA Wetzikon
Thomas Klaus, ARA Schönaue
Urs Holliger, AWEL
Sébastien Lehmann, FOEN
Beat Kobel, Ryser Ingenieure AG
Pascal Wunderlin, VSA

File:

H:\2 Projects\1000-\1400-\1490\1490.26 Evaluation of key figures MP\04 Reports\1490.26 240928 b Key figures MP.docx

Table of contents

1	Summary	3
2	Introduction	4
2.1	Initial situation	4
2.2	Goals	4
2.3	Expert group	4
3	Basics	5
4	Methodology	5
4.1	Definition of key figures in VSA recommendation 2018	5
4.2	Delimitation of system parts	5
4.3	Normalization parameters	6
4.4	Costs	7
4.5	Primary energy and CO ₂ equivalents	9
4.6	Evaluated systems	10
5	Results	13
5.1	Elimination performance MP	13
5.2	Investment costs	14
5.3	Replacement value	16
5.4	Operating costs	18
5.5	Annual costs	20
5.6	Power consumption MP main stage (without post-treatment)	21
5.7	Power consumption MP post-treatment (without main stage)	24
5.8	Total electricity consumption MP (main stage and post-treatment)	26
5.9	Activated carbon consumption	28
5.10	Oxygen consumption	30
5.11	Primary energy consumption	32
5.12	CO ₂ equivalents	34
6	Conclusion	37
6.1	Costs	37
6.2	Power consumption	37
6.3	Consumption of operating resources	37
6.4	CO ₂ equivalents	38
6.5	General	38
6.6	Outlook	38
	List of abbreviations and translations	39
	Appendix	39

1 Summary

The first plants for the elimination of micropollutants at wastewater treatment plants (WWTPs) have been in operation in Switzerland since 2016. The elimination of micropollutants requires the use of energy and human, material and financial resources and it is of general interest to record this data, evaluate it in the form of key figures and compare it with each other. This study examines 13 WWTPs for the elimination of micropollutants and aims to implement and evaluate uniform data collection in accordance with the VSA recommendation "Definition and standardization of key figures for processes for the elimination of micropollutants in WWTPs" from 2018. Six ozone, five powdered activated carbon (PAC) and two granular activated carbon (GAC) plants were investigated.

The average annual elimination performance of the plants is between 75 % and 90 %, whereby the aim of 80 % is predominantly achieved. As a rule, the tested MP stages reliably fulfill the legally prescribed purification effect.

The specific replacement values of the MP stages vary greatly, between 70 - 300 CHF/PE or 150 - 670 CHF/ $P_{\text{connected}}$ and 9,000 - 65,000 CHF/(l/s) (dimensioning water volume). There are no systematic cost differences between ozone, PAC and GAC systems. The replacement values and operating costs vary widely, which can be attributed to individual circumstances such as wastewater composition, subsoil and plant layout.

The annual operating costs are between 1.5 - 11 CHF/(PE*a) or 2.5 - 17 CHF/($P_{\text{connected}}$ *a) or 0.02 - 0.09 CHF/m³ (treated wastewater volume). If the capital costs (interest and depreciation costs) are also taken into account, the annual costs range from around CHF 7 to 32/(PE*a), CHF 12 - 55/($P_{\text{connected}}$ *a) or CHF 0.07 - 0.27/m³ (treated wastewater volume).

The total electricity consumption of the MP stages is between 2 - 9 kWh/PE*a or 0.02 - 0.1 kWh/m³, whereby ozone systems tend to have a higher electricity consumption than activated carbon systems.

The primary energy consumption, which takes into account the imported operating materials, varies between 10 - 80 kWh/PE*a or 0.1 - 0.8 kWh/m³, with no significant differences between ozone, PAC and GAC.

The oxygen consumption of ozonations is 1 - 5 kg/PE*a or 10 - 55 mg/l (treated wastewater volume), while the activated carbon consumption of PAC and GAC systems is between 0.5 - 2 kg/PE*a or 5 - 20 mg/l. No significant differences in activated carbon consumption were found between PAC and GAC plants.

The CO₂ equivalents for ozone systems are in the range of 1 - 4 kg CO₂ /PE*a. Activated carbon systems have a larger CO₂ footprint than ozone systems, especially if carbon from fossil raw materials is used. The CO₂ equivalents for activated carbon plants that use activated carbon from fossil raw materials are 6 - 23 kg CO₂ /PE*a, while lower values of 3 - 7 kg CO₂ /PE*a were observed for biogenic raw materials. The use of biogenic raw materials and the reactivation of carbon therefore offer great potential for reducing CO₂ emissions.

Due to the relatively large observed scatter of the data, it is not recommended to form regression curves or mean values from the key figure data. Each MP stage is an individual case that was designed for individual requirements. This means that planning principles for future plants cannot be derived from the available data. However, the data is well suited for a nationwide analysis.

2 Introduction

2.1 Initial situation

Since 2016, selected WWTPs in Switzerland have been legally obliged to take measures to eliminate micropollutants. Since then, the first plants have been successfully planned, built and put into operation.

The elimination of micropollutants requires the use of energy as well as human, material and financial resources, and it is generally of interest to record this data, evaluate it in the form of key figures and compare them with each other.

The VSA recommendation "Definition and standardization of key figures for processes for the elimination of micropollutants in WWTPs" [1] was therefore published in 2018. This defines which input variables are recorded per plant and year, how they are calculated and how the figures for the MP stage are differentiated from the rest of the WWTP.

2.2 Goals

Operating data is now available from several MP stages. It therefore makes sense to carry out an initial comparative evaluation.

The aim of this project was to collect and evaluate data in accordance with the VSA recommendation of 2018. The aim was not to carry out benchmarking, as the level of detail of the data collection is not sufficient for this.

2.3 Expert group

As this was the first such evaluation, the project was accompanied by a group of experts consisting of WWTP operators, cantonal authorities, FOEN, VSA and engineering firms (see imprint). This group evaluated definitions for the collection of data, calculation of imputed values, selection of results and conclusions of the study.

3 Basics

- Operating data (wastewater volumes, inflow loads, electricity consumption, laboratory measurements, etc.), status data (expansion size, connected inhabitants, etc.), cost data (construction invoices, electricity costs, operating equipment costs, personnel costs, etc.) from 13 WWTPs.
- Various planning documents from WWTP
- [1] VSA-Empfehlung «Definition und Standardisierung von Kennzahlen für Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen in ARA», 2018, www.micropoll.ch
- [2] EcolInvent Datenbank v3.3, Modul: “market for electricity, medium voltage [CH]”
- [3] EcolInvent Datenbank v3.3, Modul: “market for oxygen liquid [RER]”
- [4] EcolInvent Datenbank v3.3, Modul: „transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 [RER]”
- [5] Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung - Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6 „Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen“. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2016(63) Nr. 12, S.1062-1067, www.micropoll.ch
- [6] Aqua & Gas 01/24 «MV-Stufen stabil betreiben», Brander A., Wunderlin P., Gulde R., Böhler M. 2024, www.micropoll.ch
- [7] Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr.1214: 210 S «Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen» Abegglen C., Siegrist H. 2012, www.bafu.admin.ch

4 Methodology

4.1 Definition of key figures in VSA recommendation 2018

To calculate comparable key figures, input variables are offset against an imputed variable. There are various ways of combining input variables into key figures. The definition and delimitation of the input variables and an initial selection of indicators to be calculated are defined in the VSA recommendation "Definition and standardization of indicators for processes for the elimination of micropollutants in WWTPs" [1]. As the methodology is already described in detail in this document, only the most important principles of the methodology are explained below.

4.2 Delimitation of system parts

According to the VSA recommendation of 2018 [1], all mandatory process stages belonging to the MP stage are counted 100% as part of the MP stage, with the exception of the plant components required for biological-chemical treatment.

- Example 1: If filtration already exists at the WWTP, this is now assigned to the MP stage, as filtration is a mandatory part of the MP stage process.
- Example 2: Flocculation filtration: The operating materials are assigned to the main intended use: Iron is assigned to the WWTP, flocculants and PACs are assigned to the MP stage.
- Example 3: The investment costs include the actual costs incurred for the construction of a new part of the plant. If an ozone plant is built and sand filtration already exists, the ozone reactor and the new equipment are added to the investment costs. The replacement value also includes existing structures such as the filtration system.

- Example 4: The MP stage is divided into a main stage and a secondary treatment stage. The main stage is typically a contact reactor for ozone or activated carbon, possibly with secondary clarification for sludge recirculation of PACs. The associated secondary treatment would be filtration for PAC retention or a biologically active stage for the degradation of reaction products. A pumping station is assigned to the secondary treatment.

4.3 Normalization parameters

Normalization parameters are required to calculate input variables into an imputed value (key figure). The following parameters were used for this study:

- Population equivalents (PE): The PE indicate the load of the MP stage. This load is relevant for the operating costs and consumption of operating resources. The PE are calculated for each operating year using the 85% COD load in the raw wastewater. A specific load of 120 g/PE*d is assumed. The plant load differs from year to year. If an input variable differs from year to year, such as electricity consumption, a key figure is calculated for each operating year using the current PE. If an input variable does not change during operation (e.g. replacement value), a key figure is calculated using the average PE from all operating years examined.
 - Connected residents ($P_{\text{connected}}$): The $P_{\text{connected}}$ includes all natural persons who are connected to the respective WWTP. The connected inhabitants vary from year to year. The $P_{\text{connected}}$ are relevant for the financing of the plants by the federal government. The $P_{\text{connected}}$ play a subordinate role for the dimensioning or loading of an MP stage.
 - Dimensioning water quantity (Q_{dim}): The dimensioning water quantity Q_{dim} is decisive for the construction costs or replacement value of an MP stage, as the basins and filter sizes are designed according to the hydraulic retention time. Some MP stages have been designed as partial flow treatments. These plants are also designed for a total elimination of the indicator substances of 80% in relation to the WWTP inflow. Two different dimensioning water volumes can therefore be used to calculate key figures: Q_{dim} WWTP and Q_{dim} MP. Both sizing water volumes were taken into account in this study.
 - Treated wastewater volume (m^3): The annual total of the inflow volume to the MP stage in the corresponding operating year is used as the treated wastewater volume.
-

4.4 Costs

4.4.1 Breakdown of construction costs into trades

All investment costs (before government subsidy) were recorded in the following categories. Costs that could not be assigned to any of the categories were allocated proportionately to the categories (e.g. fees). If only total costs were known, these were divided up using the assumed percentages (see Table 1).

Table 1: Cost share of trades and amortization period

Category	Assumed share of total costs if unknown	Amortization period
Construction	45%	50 years
Electromechanical technology (EMT)	25%	15 years
Heating, ventilation, air conditioning and sanitary engineering (HVAC)	20%	15 years
Electrical, measurement, control and instrumentation technology (EMSRL)	10%	10 years

4.4.2 Investment costs, replacement value, capital costs and inflation

The investment costs include the actual costs incurred to create a MP stage. Example: If an ozonation is built and sand filtration already exists, only the ozone reactor and the new equipment are included in the investment costs. In addition to the newly constructed plant components, the replacement value of the MP stage also includes any existing structures that are necessary for the elimination of micropollutants, such as the filtration system. The costs were adjusted for inflation to ensure a uniform comparison of investment costs and replacement values.

The costs were extrapolated to the reference date of December 2023 using the following indices

- Construction: KBOB.MAT.HB (Price index for building materials in building construction)
- EMT: KBOB 28.13 (Price index for pumps and compressors)
- HVACS: KBOB 28.14 (Price index for sanitary and heating fittings)
- EMSRL: KBOB 26.51 (Price index for measuring and control instruments)

The annual capital costs are made up of depreciation costs and interest costs:

- Depreciation costs: Replacement value (category x) / depreciation period (category x)
- Interest costs: (total replacement value) / 2 * interest rate
- Assumed interest rate: 2.5%

4.4.3 Operating costs

The annual operating costs are made up of personnel costs and material costs.

- Personnel costs
 - As a rule, the WWTPs do not keep detailed hourly records for the MP stages. The personnel costs are therefore based on estimates by the plant operators. In some cases, annual hourly costs were stated. An amount of CHF 75/h (including non-wage labor costs) was assumed for the calculation of personnel costs.

Material costs include operating resources, laboratory costs, maintenance and rental costs:

- Operating resources
 - Activated carbon (quantity delivered and invoiced annually)
 - Oxygen (quantity delivered and invoiced annually)
 - Flocculant: Effective amount used in MP stage
 - Electricity: (Consumed electricity quantities of the MP level) * (effective average electricity price) (according to settlement with electricity company incl. cost-covering feed-in remuneration (KEV), peak factors, etc.)
- Laboratory costs:
 - External laboratory measurements of the indicator substances
 - Various laboratory chemicals
- Maintenance and rental costs
 - E.g. annual rental costs for liquid oxygen tank (LOX)
 - E.g. annual costs for maintenance contracts for equipment

Due to the heterogeneous composition of operating costs, these have not been adjusted for inflation. This means that they are shown at the nominal price level of the corresponding operating year.

4.5 Primary energy and CO₂ equivalents

Primary energy includes the energy contained in the original energy sources as well as the energy required for their extraction, conversion and use. The primary energy for the construction of a plant is not taken into account. The same system limits apply for CO₂ equivalents as for primary energy.

The annual primary energy consumption and the CO₂ equivalents are calculated based on the amount of operating resources consumed and a factor. For this study, in accordance with the VSA recommendation 2018 [1], the calculation factors in Table 2 were used. The CO₂ emissions for the production of activated carbon depend heavily on the raw material and the degree of combustion of the raw material (hard carbon or lignite). For this reason, a medium factor was assumed for activated carbon from fossil raw materials. However, depending on the raw material used, the CO₂ equivalents can also be significantly higher. A detailed derivation of the calculation factors can be found in the VSA recommendation from 2018 [1]. The activated carbon product used by the respective WWTP was not recorded in this study, only the quantity consumed. Two scenarios were therefore calculated for the CO₂ equivalents: One based on fossil raw materials and a second based on biogenic, or reactivated raw materials.

Table 2: Calculation factors for primary energy and CO equivalents₂

Calculation factor	Value	Source
Electricity (primary energy):	2.3 kWh/kWh _{electrical}	[2]
electricity (CO ₂ -equivalents):	89 gCO ₂ /kWh _{electrical}	[3]
Liquid oxygen (primary energy):	2.04 kWh/kg	[3], [4]
Liquid oxygen (CO ₂ -equivalents):	0.65 kg CO ₂ /kgO ₂	[3], [4]
Average activated carbon from fossil raw materials (fresh) (primary energy):	30 kWh/kg _{AC}	[5], [4]
Average activated carbon from fossil raw materials (fresh) (CO ₂ - equivalents):	11 kg CO ₂ /kg _{AC}	[5], [4]
Activated carbon from biogenic raw materials or GAC reactivates (primary energy)	7 kWh/kg _{AC}	[5], [4]
Biogenic activated carbon from biogenic raw materials or GAC reactivates (fresh) (CO ₂ -equivalents):	3 kg CO ₂ /kg _{AC}	[5], [4]

4.6 Evaluated systems

Data from a total of 13 MP levels were analyzed for this study. Table 3 shows the plants evaluated, sorted according to the respective dimensioning water volume (Q_{dim} WWTP). For the sake of simplicity, the WWTPs are not referred to by name in the following chapters, but by "ID WWTP". The appendix contains fact sheets with brief descriptions of the various MP levels.

Table 3: Evaluated WWTP for the key figure study

ID	WWTP	Process	Partial flow / full flow	In operation since	Operating years evaluated
A	Penthaz	GAC in a floating bed	Full flow	2018	2019-2022
B	Egg-Oetwil am See	PAC upstream of sand filter	Full flow	2020	2021-2022
C	Eich, Bassersdorf	Ozonation	Full flow	2018	2019-2022
D	Porrentruy	Ozonation	Full flow	2020	2021-2022
E	Bachwis, Herisau	PAC, Ulm method	Partial flow	2015	2016-2022
F	Moss, yeast oven	GAC filtration	Full flow	2021	2022
G	Reinach	Ozonation	Full flow	2016	2018-2022
H	Flos, Wetzikon	PAC in biology	Full flow	2019	2020-2022
I	Neugut, Dübendorf	Ozonation	Full flow	2014	2015-2022
J	Morgental, Steinach	Ozonation	Partial flow	2021	2022
K	Lake Thun, Uetendorf	PAC, Ulm method	Partial flow	2018	2019-2022
L	Schönau, Cham	PAC upstream of sand filter	Full flow	2019	2020-2022
M	Werdhölzli, Zurich	Ozonation	Full flow	2018	2019-2022

The presentation of the key figures is explained below using two examples from the data collected: The key figures are each briefly explained in a definition box. The key figures are then presented in graphs. Important notes and observations can be found below each graph.

Example 1 (see next page) shows the system size in a diagram in x-y format, in which both the x and y axes are scaled with numerical values. Figure 1 shows a comparison of the plant load in PE and the maximum hydraulic capacity of the WWTPs investigated. Each data point corresponds to one WWTP. The different processes are indicated by colors: PAC (black), GAC (red), ozone (blue).

Example 2 (see next page) shows the industry share in "ID WWTP" format, where only the y-axis is scaled. This allows the data points to be clearly assigned to a specific plant, which makes interpretation easier. The different processes are also color-coded as described above.

Example 1 - System size

Definition: The PE refer to the 85% COD inflow loads in the raw wastewater in the WWTP inflow. For Figure 1, the PEs were averaged into one value over the evaluated operating years. The Q_{dim} WWTP refers to the maximum hydraulic capacity of the investigated WWTP. Note: The maximum hydraulic capacity of the WWTP may differ from the capacity of the MP stage (e.g. MP partial flow treatments).

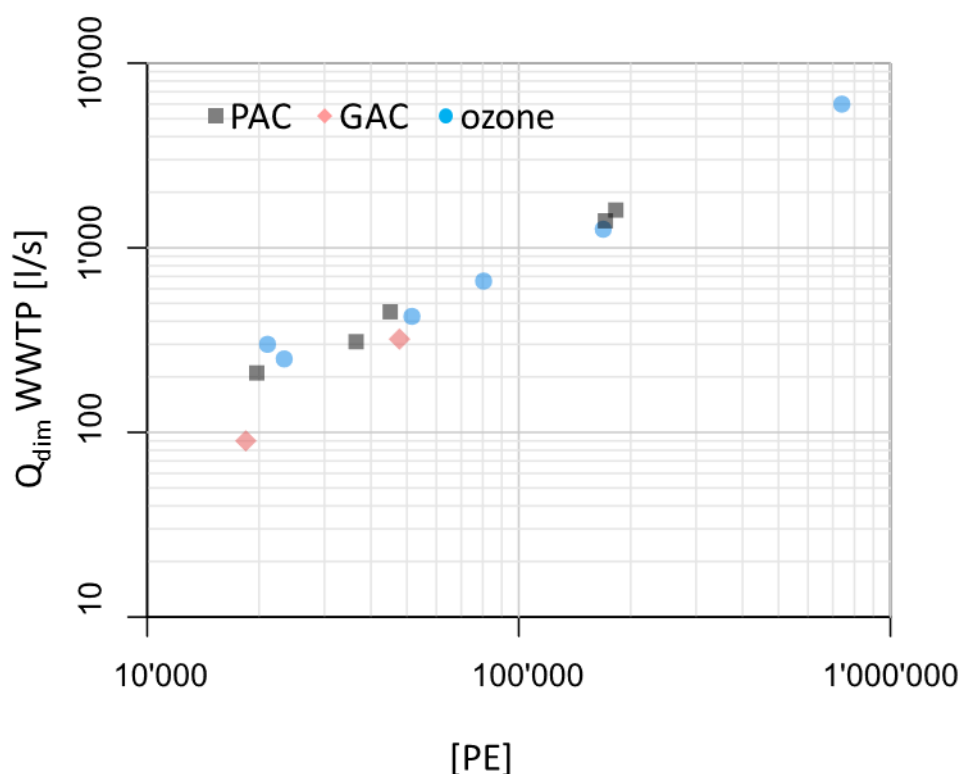


Figure 1: Average PE over the operating years studied (x-axis) and the maximum hydraulic capacity of the WWTPs studied (y-axis).

- The plants examined cover a size range between 18,000 PE and 700,000 PE.
- The hydraulic capacities of the wastewater treatment plants investigated are between 200 l/s and 6,000 l/s
- In the double-logarithmic diagram, the data points lie approximately on a straight line. This illustrates a non-linear relationship between the PE and the hydraulic design of WWTPs.

Example 2 - Industry share

Definition: The industrial share of a catchment area can be quantified by the ratio of the influent load and the number of natural persons in the catchment area. Population equivalents (PE) refer to the 85% COD influent loads in the raw wastewater of the WWTP. The $P_{\text{connected}}$ refer to the natural persons in the catchment area of a WWTP. A ratio of 1 would result in an industrial share of 0.

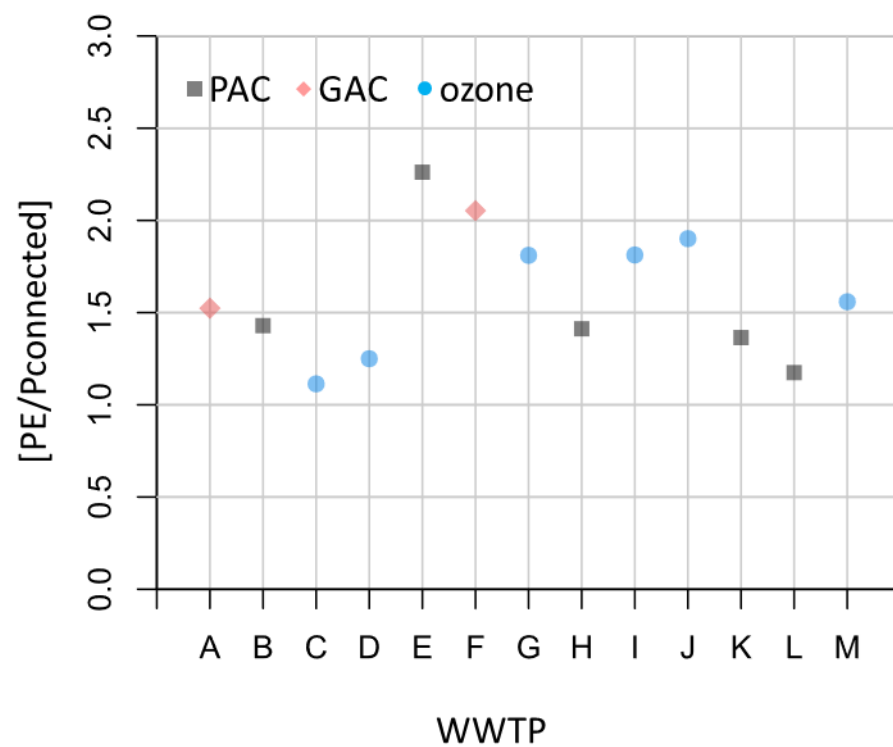


Figure 2: Representation of the industrial share in the catchment area of the plants based on the ratio between plant load (PE) and connected inhabitants ($P_{\text{connected}}$).

- There are clear differences in the industrial share of the plants.
- Plant E has the highest industrial share.

5 Results

Selected results are presented and analyzed in this chapter. The chapters are structured as follows: Each topic area is first briefly defined, followed by a graphical representation of the corresponding key figures. This is followed by a section listing the observations and interpretations.

5.1 Elimination performance MP

Definition: The MP elimination performance is measured several times a year (6-24x) at each WWTP. The elimination is determined on the basis of the concentrations of the various indicator substances in the influent and effluent of the WWTP. The mean value of the individual eliminations of all substances used for the calculation must be at least 80%. For the following figure, an average value was calculated from all elimination measurements per operating year. One data point corresponds to one year of operation.

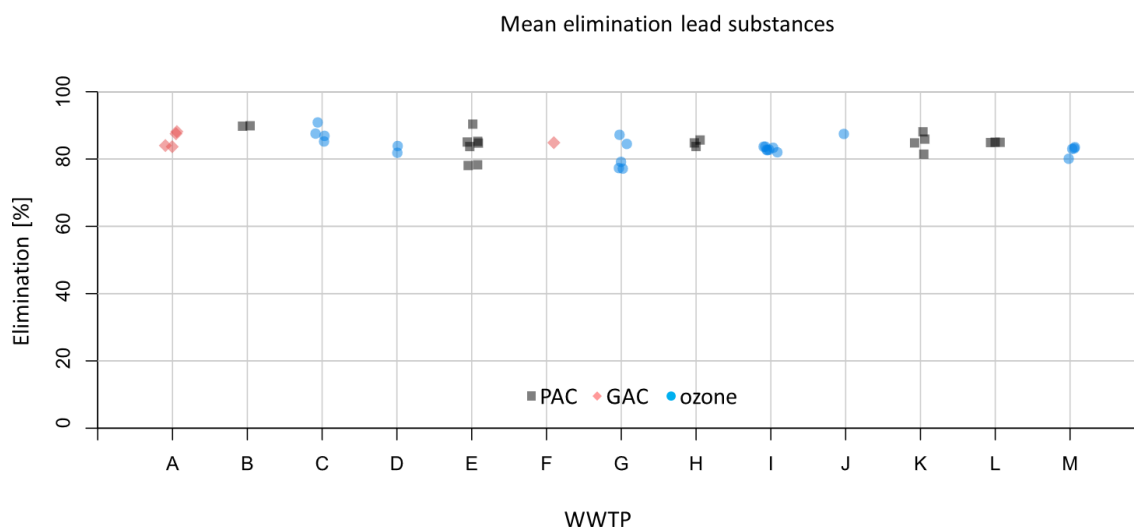


Figure 3: Mean elimination of the indicator substances according to ID WWTP. Each data point corresponds to one year of operation. The horizontal shift of the data points is only used to better distinguish the individual points and has no further significance.

Observations, interpretations and explanations:

- The elimination performance of the systems varies between 75% and 90%. The purification target of 80% is achieved in most cases. Individual operating years or individual plants fell short of the purification target.
- The first year of operation is not systematically better or worse than the subsequent years of operation. There is only limited potential for optimization regarding the approximation of the cleaning target, as uncertainties / fluctuations must be taken into account.
- The cleaning performance is essentially the same as the results from the study by Brander, Wunderlin, Gulde and Böhler (2024) [6]. Minor differences are due to the observation periods and the method of presentation.

5.2 Investment costs

Definition: The investment costs include the actual costs incurred for the construction of an MP level (before compensation from the federal government). Example: If an ozone plant is built and sand filtration already exists, only the ozone reactor and the new equipment are included in the investment costs. In comparison, the replacement value of the MP stage (see below) includes existing structures such as filtration in addition to the newly constructed plant components. The costs are indexed to the level of inflation in December 2023.

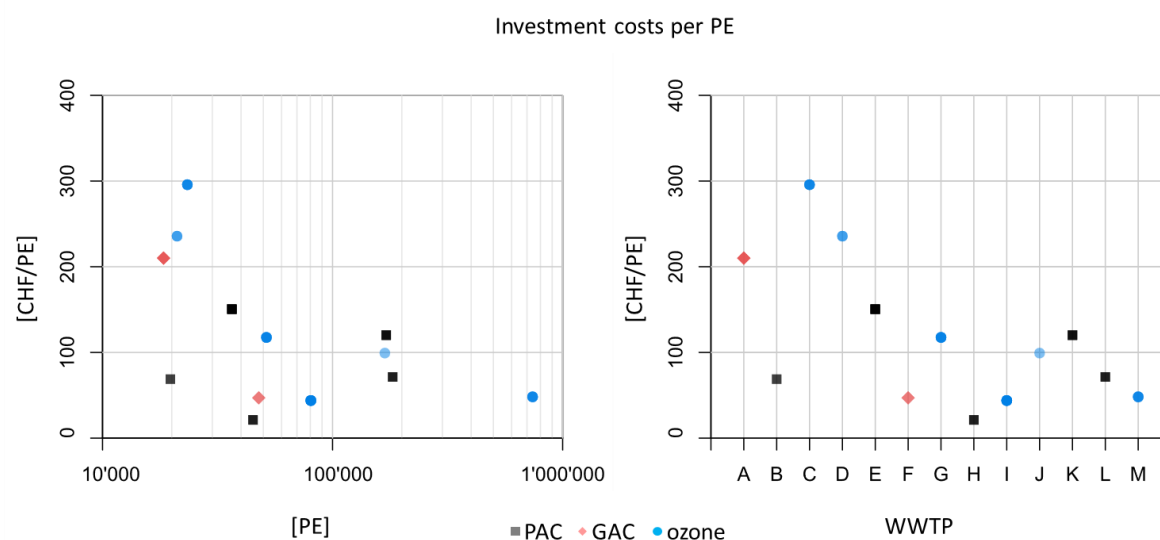


Figure 4: Investment costs per average PE. Left: x-axis by average PE. Right: x-axis by plant.

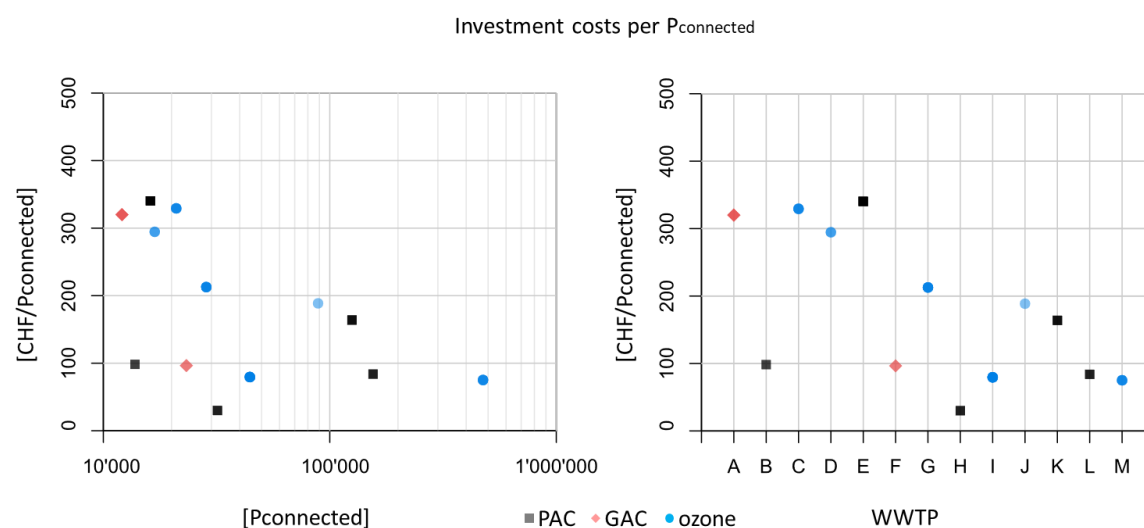


Figure 5: Investment costs per average $P_{\text{connected}}$. Left: x-axis by average $P_{\text{connected}}$. Right: x-axis by system.

Observations, interpretations and explanations:

- The specific investment costs (before compensation from the federal government) are in the range of CHF 20 - 300/PE, or CHF 25 - 350/P_{connected}
- Note: Some plants already had plant components that are necessary for an MP stage (e.g. filtration) before the investments were made. This sometimes leads to large differences in the specific investment costs. The following plants already had filtration before the investment in an MP stage:
 - B, E, F, H, I, L, M
- The following examples can be used to illustrate the differences in the level of specific investment costs:
 - PAC dosing into the biology was implemented in plant H. The existing plant already had a filtration system, which by definition was not included in the investment costs. This leads to low specific investment costs.
 - In plant C, on the other hand, a completely new ozone system including sand filter was built. The specific investment costs are correspondingly higher.
- Investment costs compare costs that are not based on the same framework conditions. For example, investments for the construction of a complete plant (main stage + filtration) are compared with the costs for partial equipment (main stage only, as filtration already existed).
- Due to the examples given, it is therefore not possible to compare the systems uniformly on the basis of investment costs. A comparison using the replacement value (see next section) is necessary.

5.3 Replacement value

Definition: The investment costs comprise the actual costs incurred for the construction of an MP stage (before compensation from the federal government). Example: If an ozone plant is built and sand filtration already exists, only the ozone reactor and the new equipment are included in the investment costs (see previous chapter). In addition to the newly constructed plant components, the replacement value of the MP stage also includes the costs of any existing structures that are part of the MP stage, such as the filtration system. The costs are indexed to the level of inflation in December 2023.

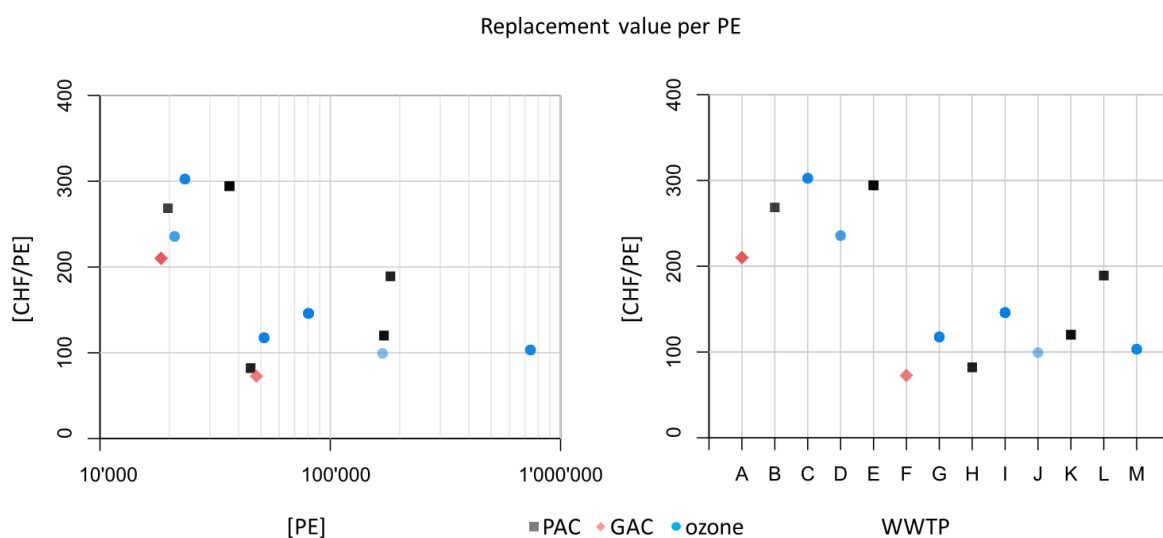


Figure 6: Replacement value per average PE. Left: x-axis by average PE. Right: x-axis according to installations.

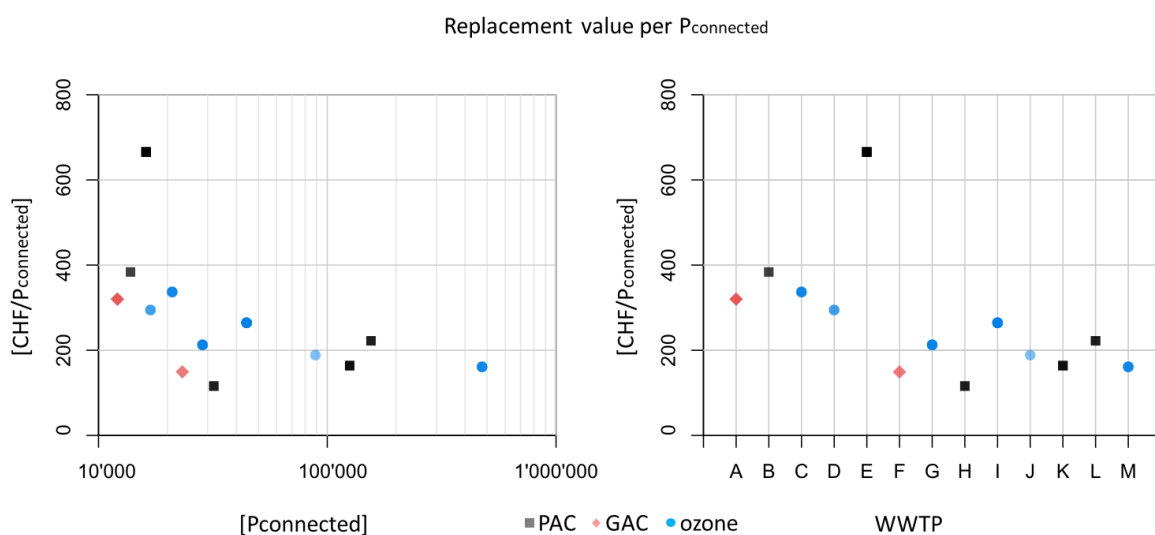


Figure 7: Replacement value per average $P_{\text{connected}}$. Left: x-axis by average E. Right: x-axis by plant.

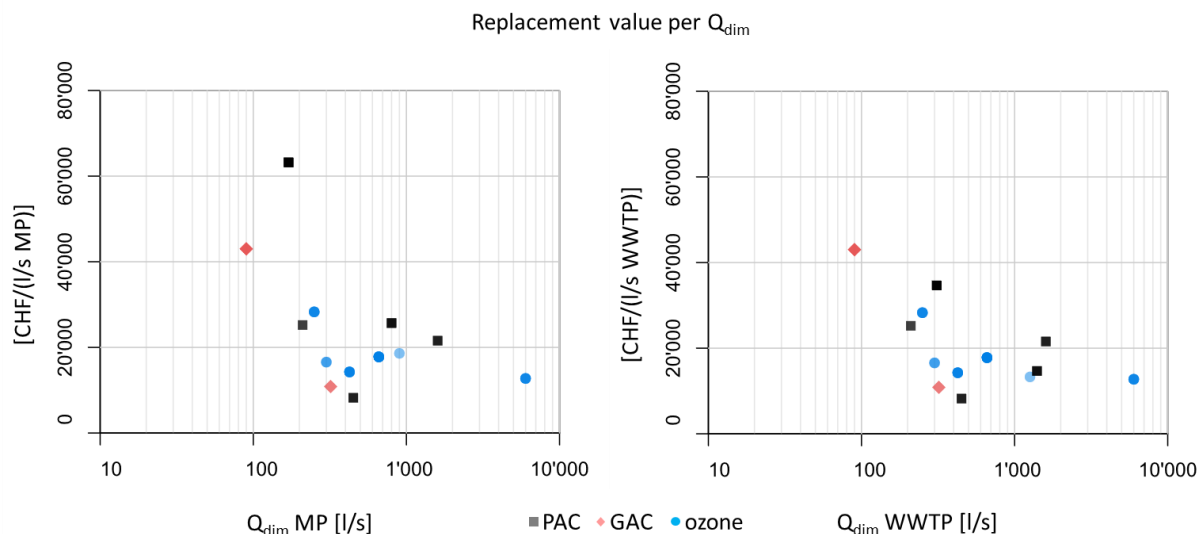


Figure 8: Replacement value per dimensioning water volume. Left: per Q_{dim} MP. Right: per Q_{dim} WWTP.

Observations, interpretations and explanations:

- The specific replacement values of the MP stages are in the range of approx. 70 - 300 CHF/PE or 150 - 670 CHF/ $P_{connected}$, or 9,000 - 65,000 CHF/(l/s).
- Depending on the normalization parameters (per PE, per $P_{connected}$, per Q_{dim}), the specific replacement values shift relative to each other, for example due to different industry shares. Clear economies of scale can therefore not be observed.
- MP stages can be designed both as full flow and partial flow treatments. In both cases, the plants are designed for a total elimination of 80% of the indicator substances via the WWTP. The specific replacement values per Q_{dim} MP are higher in the case of partial flow treatments than the specific replacement values per Q_{dim} WWTP.
- There are no systematic differences in the specific replacement values between ozone, PAC and GAC systems.
- An Ulmer process was implemented at plant E (PAC contact basin + sedimentation basin). This was the first MP plant in Switzerland, which was also designed for the elimination of dyes from industry. The specific replacement value is correspondingly high. An Ulmer process was also implemented at plant K, which has a low replacement value.
- Plants F and H have very similar replacement values. Both plants already had a sand filtration system of the same type before the construction of an MP stage and in both cases only minor retrofitting/conversions were necessary. The similar replacement values are therefore an indication of high plausibility.
- Plant components that already existed before the MP stage was built and could continue to be used are included in the replacement value. The replacement value can be used to compare the systems in a uniform manner.

5.4 Operating costs

Definition: Operating costs include personnel costs, operating equipment costs, electricity costs, laboratory costs and contracts such as maintenance contracts. Due to the heterogeneous composition, operating costs are not adjusted for inflation. The nominal costs for the respective operating years are shown. The costs for operating resources were determined on the basis of the annual quantity delivered.

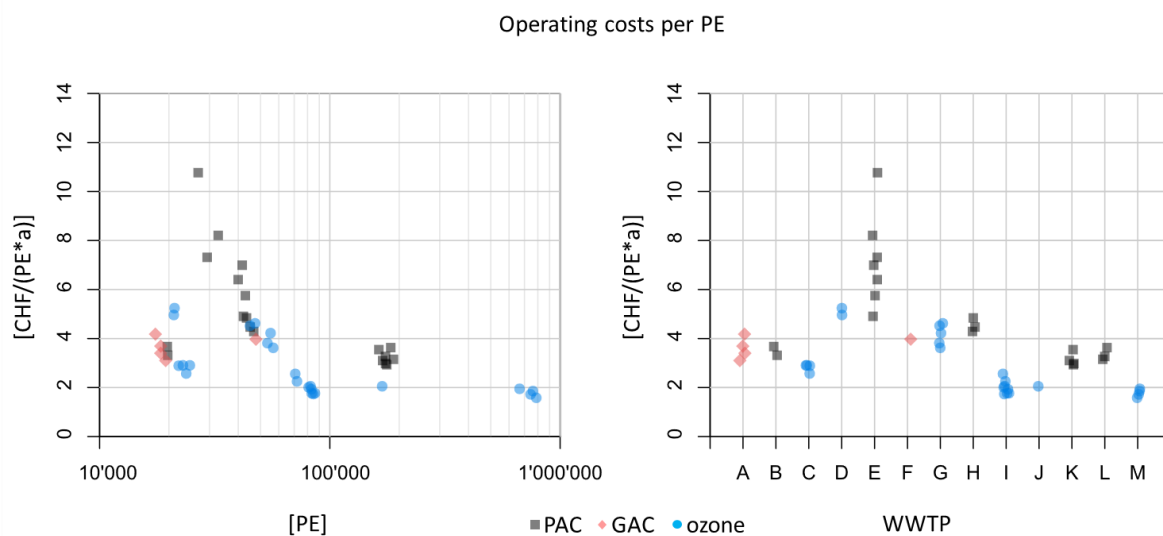


Figure 9: Operating costs per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

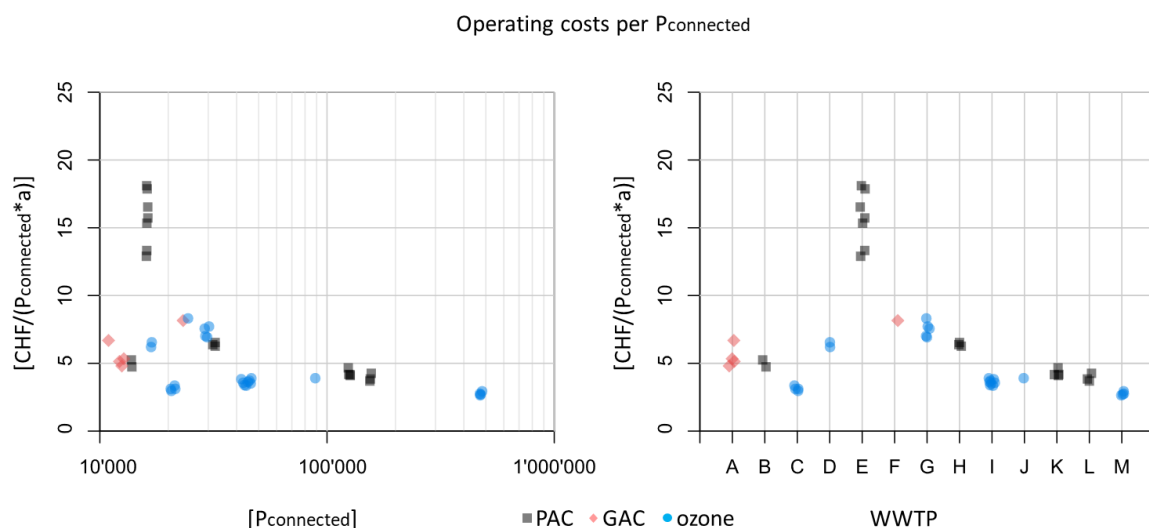


Figure 10: Operating costs per $P_{connected}$. Left: x-axis by E. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

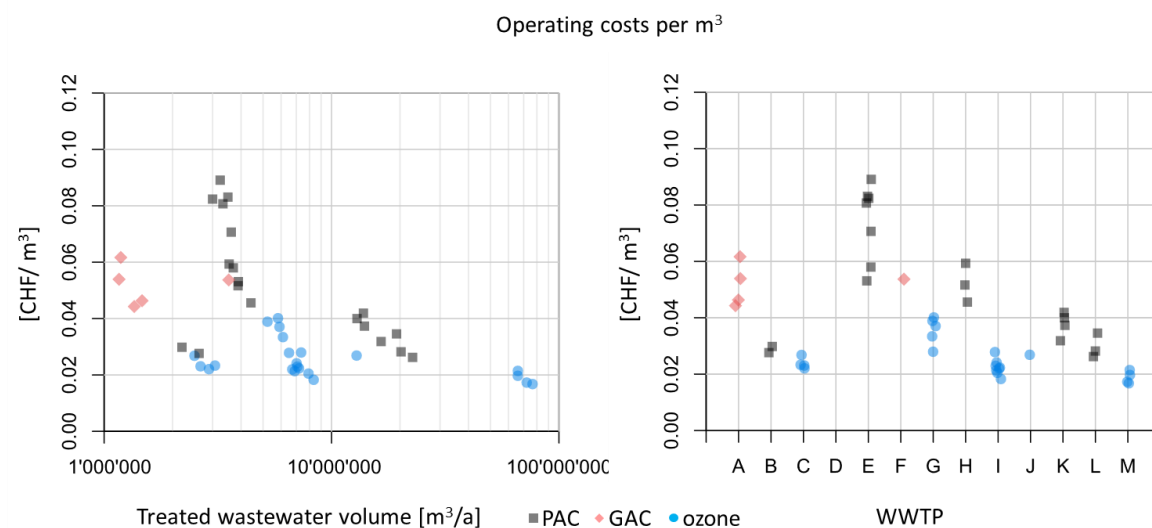


Figure 11: Operating costs per treated m^3 of wastewater. Left: x-axis by treated water volume. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The annual operating costs are in the range of 1.5 - 11 CHF/PE*a or 2.5 - 17 CHF/ $P_{\text{connected}}$ *a or 0.02 - 0.09 CHF/ m^3 .
- Plant E has high operating costs due to the high industrial influence. These costs vary greatly depending on the system load and the inflow volume.
- The scatter among the plants and years of operation is low (with the exception of WWTP E). Possible reasons for the remaining scatter are the varying annual water volumes and loads. In addition, operational optimizations can lead to scattering between operating years.
- The costs are not dependent on the process. There is no systematic difference between activated carbon systems and ozone systems. There is also no systematic difference between GAC and PAC systems.

5.5 Annual costs

Definition: The annual costs are formed from the sum of the operating costs and capital costs. The capital costs are based on the replacement value and are formed from the interest and depreciation costs.

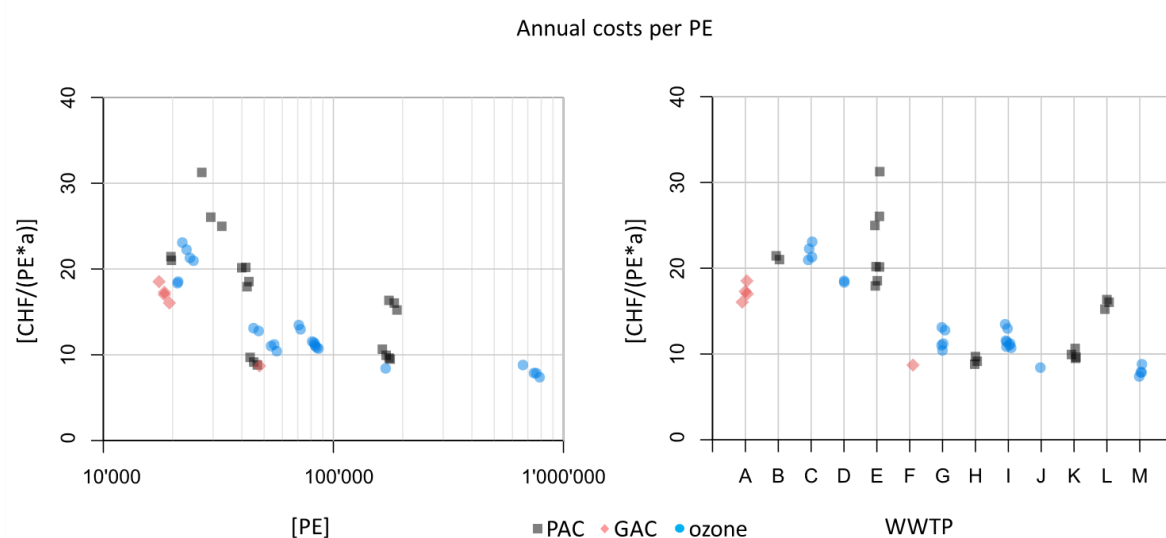


Figure 12: Annual costs per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

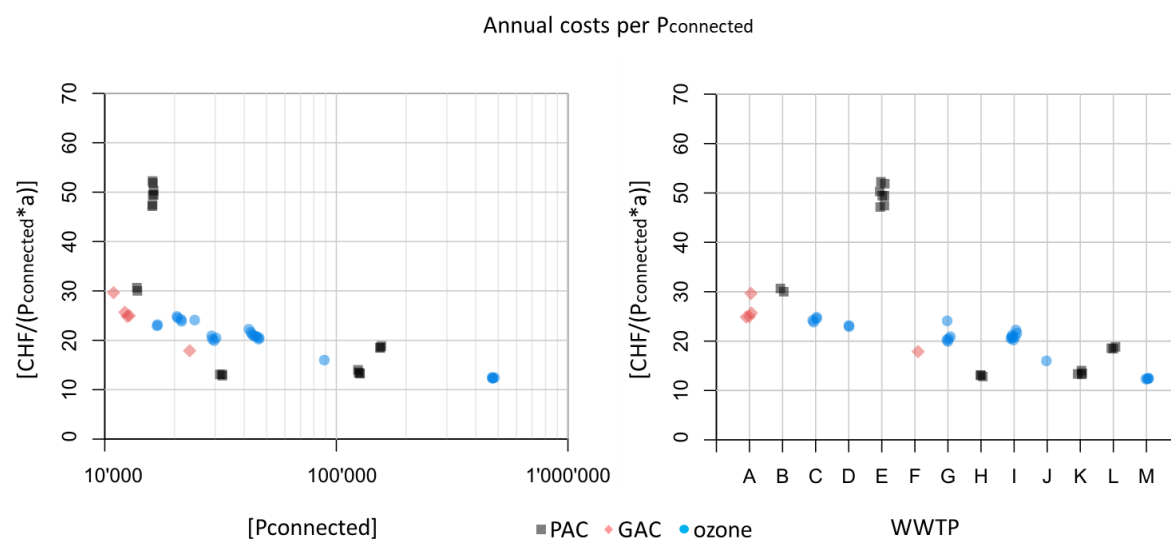


Figure 13: Annual costs per $P_{\text{connected}}$. Left: x-axis by $P_{\text{connected}}$. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only used to better distinguish the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

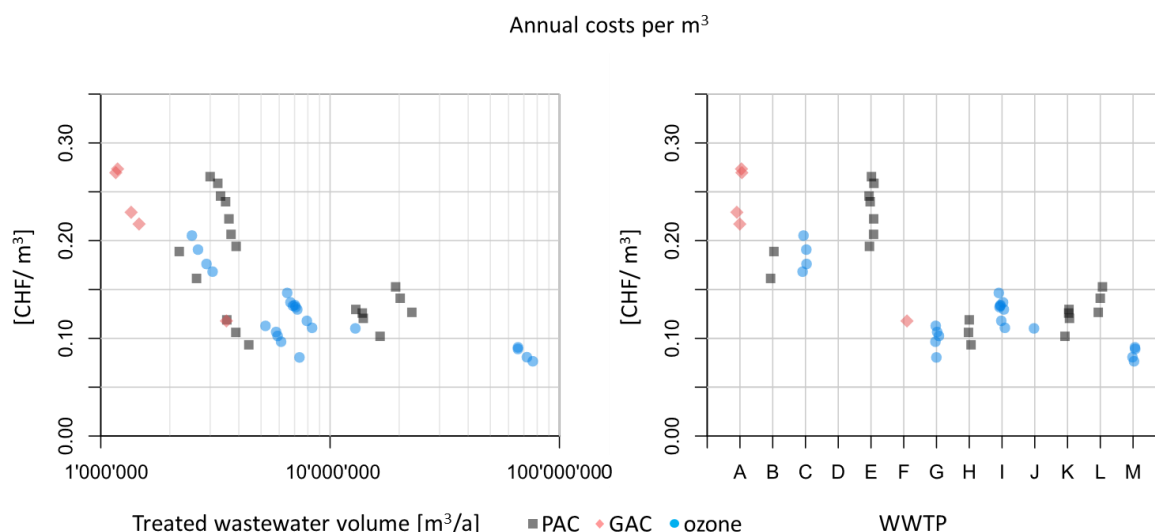


Figure 14: Annual costs per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The annual costs are in the range of approx. 7 - 32 CHF/PE*a or 12 - 55 CHF/ P_{connected} *a or 0.07 - 0.27 CHF/ m³.

The observed annual costs compare as follows with the estimates from the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7]:

- Small MP steps:
 - Observed annual costs for small ozone systems: 0.15 - 0.22 CHF/m³.
 - Estimated annual costs for small ozone systems (14,000 PE): CHF 0.32 - 0.36/m³. [7]
 - Observed annual costs for small PAC systems: 0.10 - 0.26 CHF/m³.
 - Estimated annual costs for small PAC systems (14,000 PE): 0.42 - 0.47 CHF/m³. [7]
 - For small WWTPs, the observations tend to be below the expected cost range. However, no data is yet available for small plants, particularly in the 10,000 - 20,000 PE range.
- Large MP steps:
 - Observed annual costs for large ozone systems: 0.07 - 0.15 CHF/m³
 - Estimated annual costs for large ozone systems (590,000 PE): 0.09 - 0.11 CHF/m³. [7]
 - Observed annual costs for large PAC systems: 0.09 - 0.16 CHF/m³
 - Estimated annual costs for large PAC systems (590,000 PE): 0.15 - 0.20 CHF/m³ [7]
 - For large WWTPs, the observations are largely consistent with the estimated cost range.
- In contrast to the operating costs, systems A, B, C and E have comparatively high annual costs. This is due to the higher specific replacement values of these systems.
- There are no systematic differences between ozone, PAC or GAC systems.

5.6 Power consumption MP main stage (without post-treatment)

Definition: The MP stage is divided into a main stage and a secondary treatment stage. The main stage is typically a contact reactor for ozone or activated carbon, possibly with secondary clarification for sludge recirculation of PAC. The associated secondary treatments (see section below) would be filtration for PAC retention or a biologically active stage for the degradation of unstable reaction products. A pumping station is assigned to the secondary treatment.

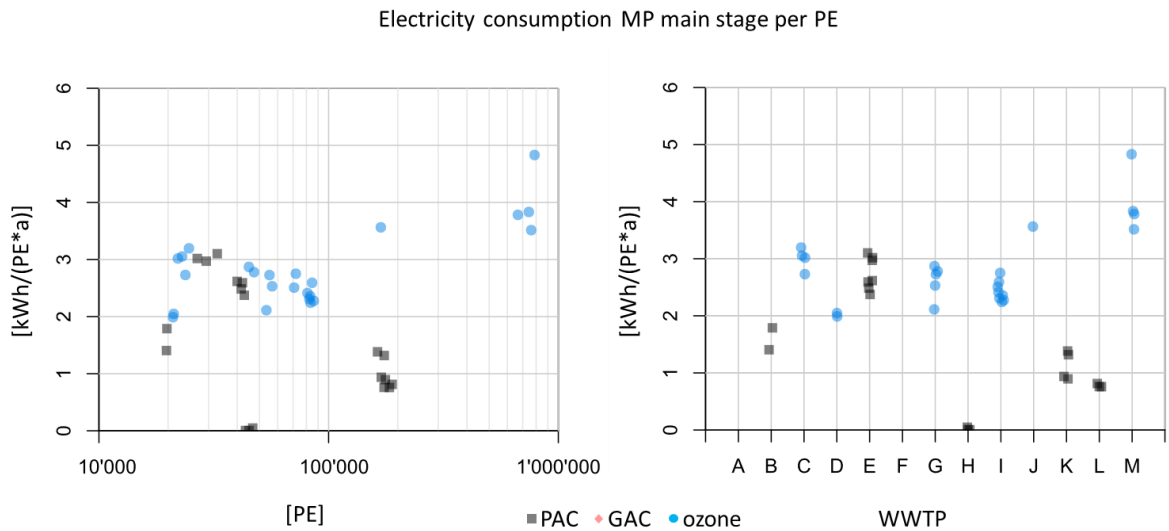


Figure 15: Electricity consumption MP main stage per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis according to ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

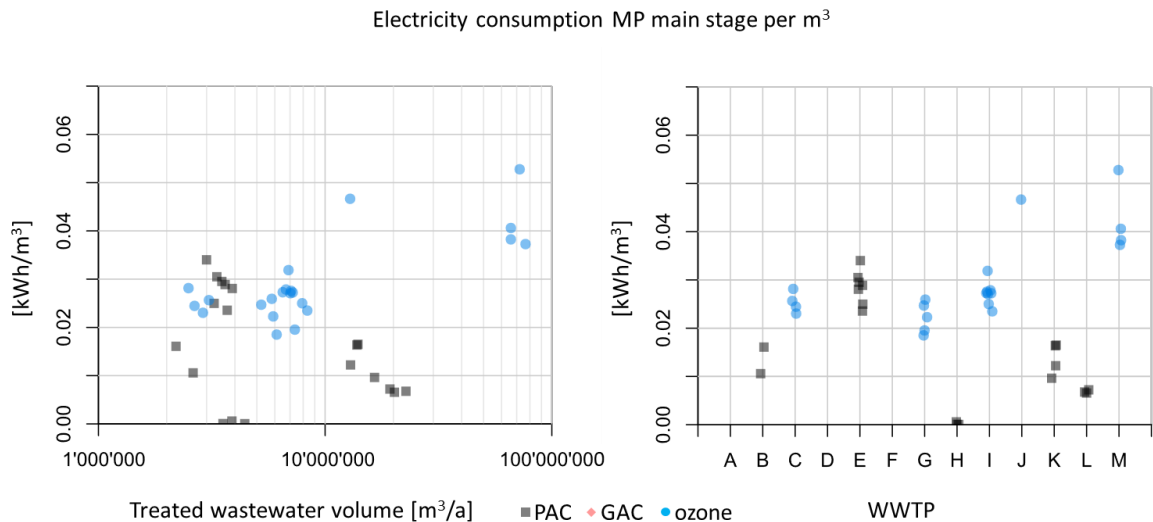


Figure 16: Electricity consumption MP main stage per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The electricity consumption of the MP main stages is in the range between 0.1 - 5 kWh/PE*a or 0.001 - 0.055 kWh/m³.

The observed electricity consumption of the main MP stages compares as follows with the estimates from the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7]:

- Ozone systems:
 - Observed electricity consumption of the MP main stages: 2 - 5 kWh/PE*a or 0.02 - 0.055 kWh/ m³
 - Estimated power consumption of the MP main stages: 0.05 - 0.1 kWh/m³ [7]
 - The electricity requirements of ozone systems tend to be overestimated compared to current observations
- PAC plants
 - Observed electricity consumption of the MP main stages: 0.1 - 3 kWh/PE*a or 0.001 - 0.035 kWh/ m³
 - Estimated power consumption of the main MP stages: 0.01 - 0.04 kWh/m³ for PAC dosing [7]
 - The observations for PAC systems are largely consistent with the estimated electricity consumption
- Ozone plants have a higher electricity requirement in the main stage than the PAC processes due to the ozone production. Plant E is an exception due to its high industrial share.
- By definition, only the electricity consumption of the PAC dosing into the biology is taken into account for the main stage at plant H. Consumption is therefore at a very low level.
- WWTP M has an increased nitrite content in the inlet of the ozone system. It is estimated that the nitrite in system M accounts for approx. 10-15% of the ozone requirement, which consequently also leads to an increased electricity requirement.
- WWTP M also operates its own plant for the production of oxygen (VPSA). The electricity consumption of the VPSA was not taken into account for the main stage. The electricity consumption figures shown are therefore comparable. VPSA electricity consumption is included in the key figure "Total electricity consumption MP" (see section below).
- WWTP A and F operate a GAC plant. By definition, GAC filtrations including the pumping station consist of only one process stage and therefore cannot be divided into main stage and secondary treatment. The electricity consumption is shown at the relevant points in the following sections (see next sections).

5.7 Power consumption MP post-treatment (without main stage)

Definition: The MP stage is divided into a main stage and a secondary treatment stage. The main stage is typically a contact reactor for ozone or activated carbon, possibly with secondary clarification for sludge recirculation of PAC. The associated secondary treatment would be filtration for PAC retention or a biologically active stage for the degradation of reaction products. A pumping station is assigned to the secondary treatment.

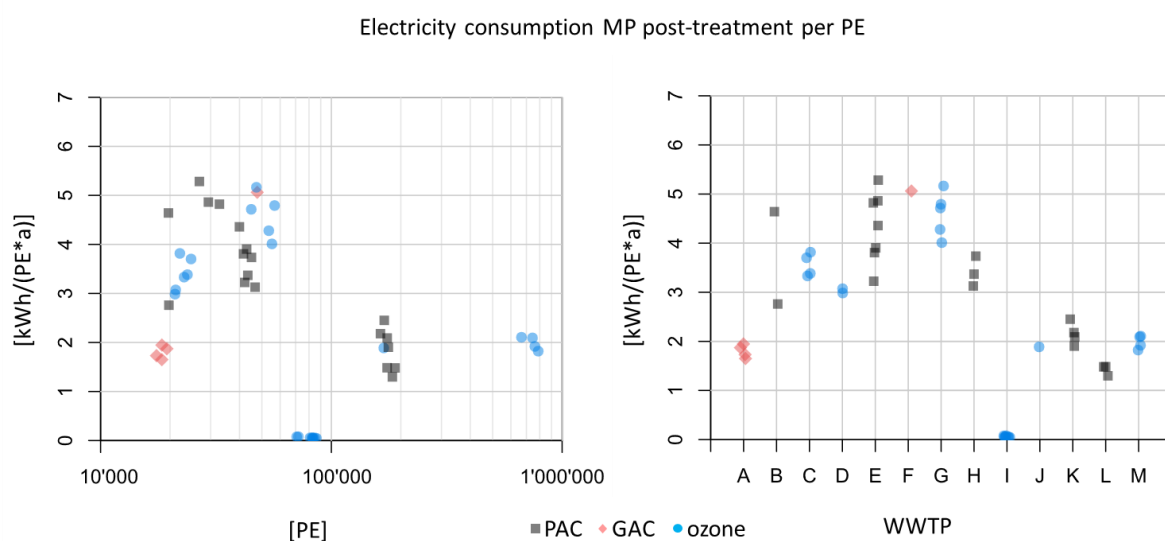


Figure 17: Electricity consumption MP post-treatment per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

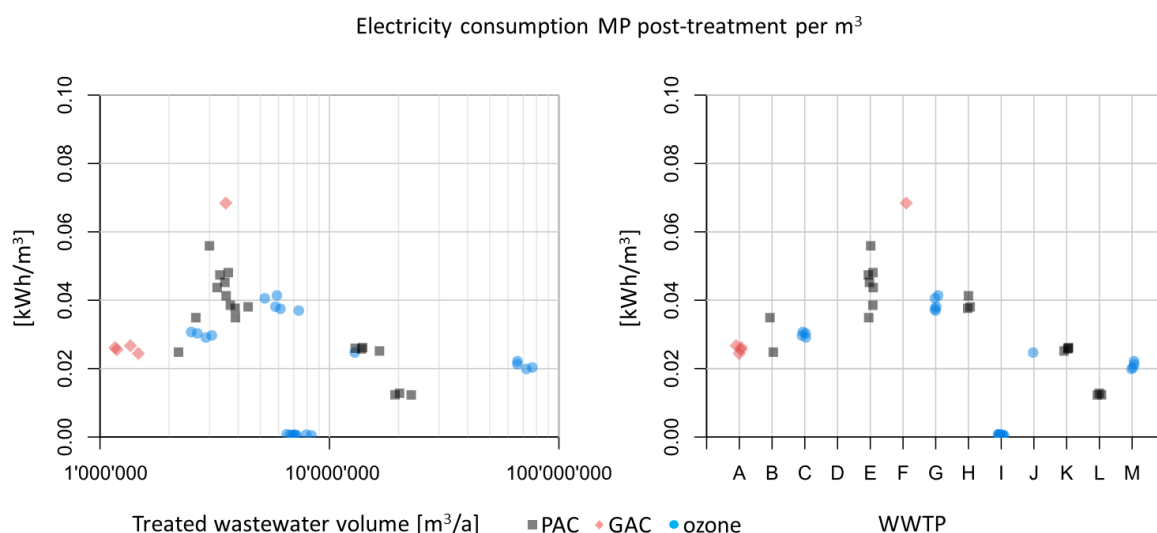


Figure 18: Electricity consumption MP post-treatment per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The electricity consumption of the MP post-treatments is in the range between 0.1 - 5 kWh/PE*a or 0.001 - 0.07 kWh/m³
- The power consumption of the post-treatment depends largely on the lifting height of the MP stage.
- WWTP I has a pumping station upstream of the biological treatment stage. After secondary clarification, the wastewater therefore flows freely through the MP stage. By definition, the pumping station is not assigned to the MP stage in this case, but to the biological stage. Accordingly, the power consumption of the secondary treatment in system H is very low.
- WWTP A and F operate a GAC plant. By definition, the GAC filtration incl. pumping station consists of only one process stage. The GAC filtration is plotted for the purpose of comparability with the other filter systems and post-treatments. The specific electricity consumption shown in this chapter therefore also corresponds 1:1 to the total electricity consumption of the GAC plants (see next section).
- Compared to the other filtration systems, system F has a higher power requirement. This is due to the continuous circulation of the GAC filter bed.
- As the post-treatment in all processes involves filtration, no systematic differences can be identified between the processes.

5.8 Total electricity consumption MP (main stage and post-treatment)

Definition: The total electricity consumption is the sum of the electricity consumption of the main stage and the post-treatment stage.

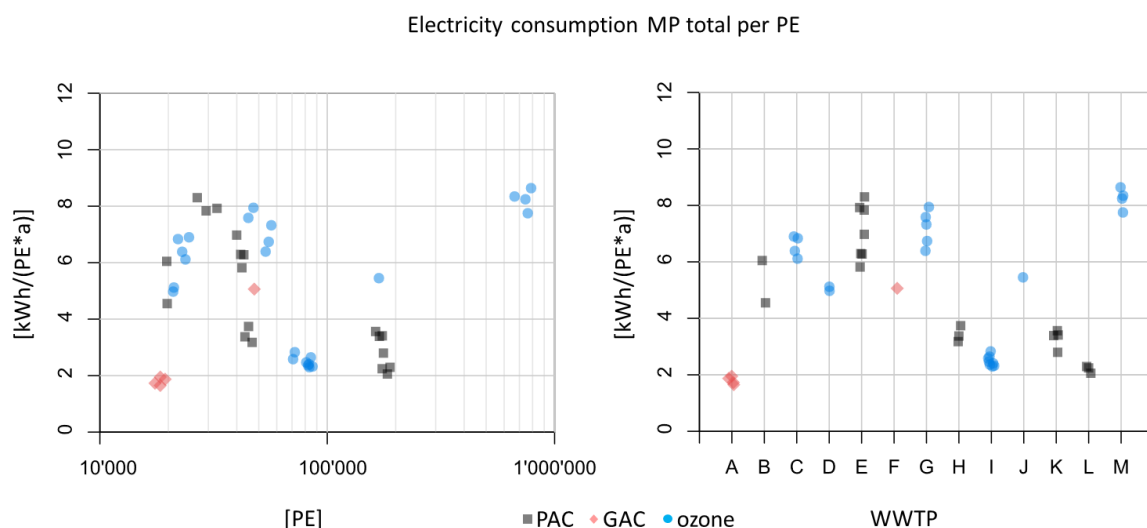


Figure 19: Electricity consumption per p.e. Left: x-axis by PE. Right: x-axis according to ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

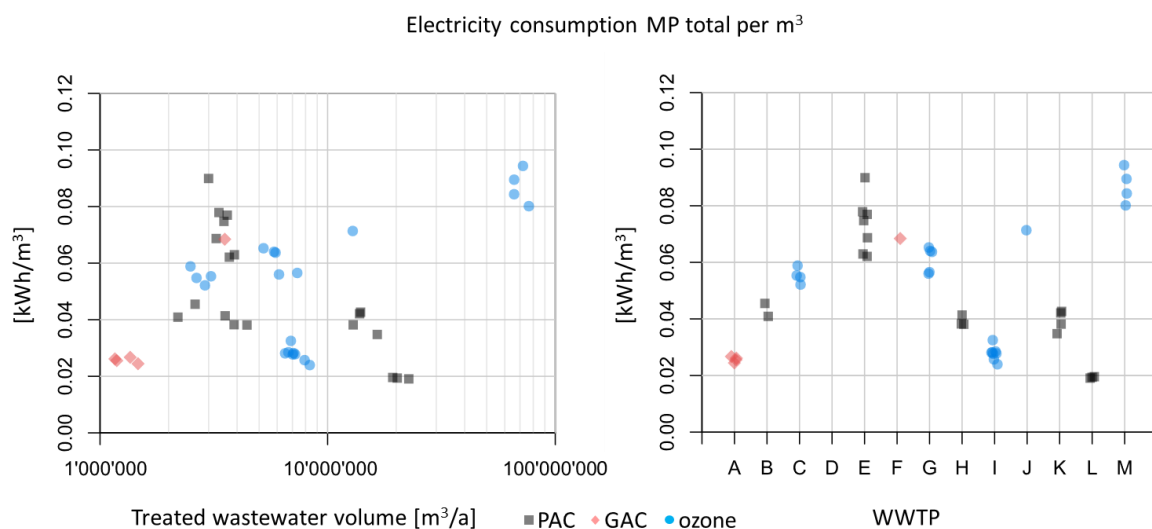


Figure 20: Electricity consumption per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The total electricity consumption of MP stages is in the range between 2 - 9 kWh/PE*a or 0.02 - 0.1 kWh/m³.

The total electricity consumption observed compares as follows with the estimates from the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7]:

- Ozone systems
 - Observed total electricity consumption: 2 - 9 kWh/PE*a or 0.02 - 0.10 kWh/m³
 - Estimated total electricity consumption: 2 - 16 kWh/PE*a or 0.05 - 0.10 kWh/m³ [7]
 - The observations are largely consistent with the expected total electricity consumption in the MP main stage.
- PAC plants
 - Observed total electricity consumption: 2 - 9 kWh/PE*a or 0.02 - 0.10 kWh/m³
 - Estimated total electricity consumption: 1 - 5 kWh/PE*a or 0.01 - 0.04 kWh/m³ [7]
 - The observations are largely consistent with the expected total electricity consumption in the main MP stage if the "special case" WWTP E is excluded from the analysis.
- GAC plants
 - Observed electricity consumption: 2 - 5 kWh/PE*a or 0.025 - 0.07 kWh/m³
 - No comparable literature values are yet available for GAC systems.
- If the "special cases" E and I are excluded from the analysis, ozone systems have a higher power consumption in operation than activated carbon processes.
- WWTP M also operates its own plant for the production of oxygen (VPSA). The electricity consumption of the VPSA was also taken into account for the total electricity consumption. Accordingly, the electricity consumption of plant M is higher than that of other ozone plants.
- The variation in total electricity consumption is large. Both between the systems and between the years of operation.

5.9 Activated carbon consumption

Definition: The activated carbon consumption shown refers to the annual quantity of PAC or GAC dosed (NOT to the quantity delivered).

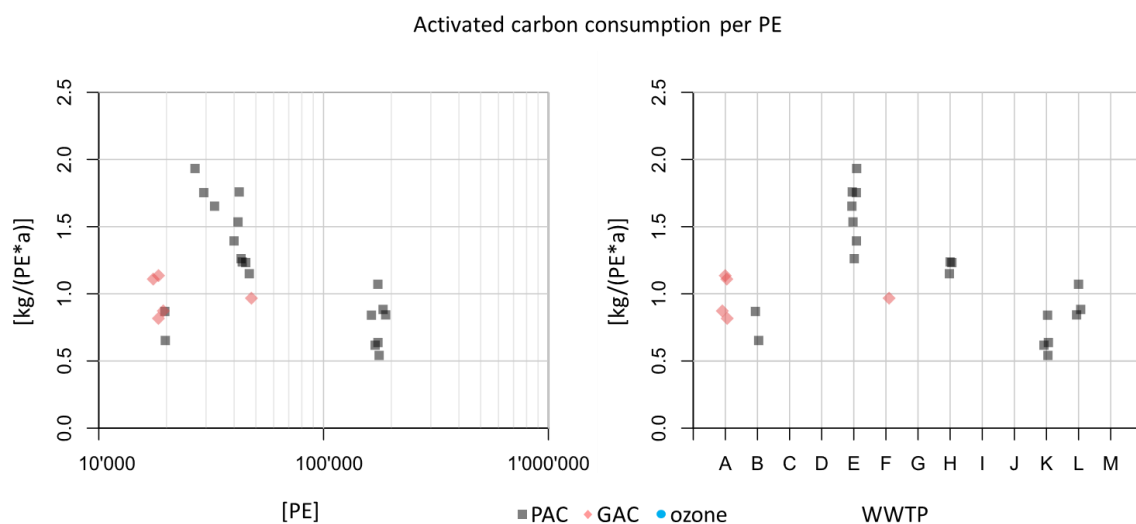


Figure 21: PAC consumption per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

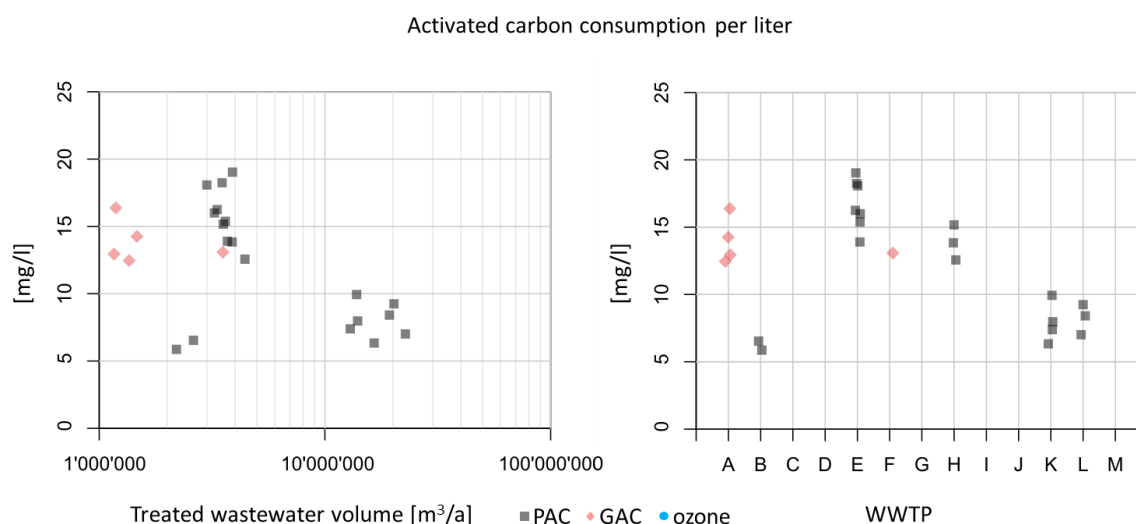


Figure 22: PAC consumption per treated liter of wastewater. Left: x-axis by treated liters. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The activated carbon consumption is in the range of approx. 0.5 - 2 kg/PE*a or 5 - 20 mg/l.
- The estimated activated carbon consumption in the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7] was 12 – 15 mg/l. It is evident that the required purification performance can also be achieved with a lower activated carbon dose than expected.
- There are no systematic differences in activated carbon consumption between PAC and GAC plants.
- The activated carbon consumption is increased due to the industrial influence on system D. The specific activated carbon consumption depends on the industrial influence.
- Due to the organic background matrix in the biological tank, the PAC requirement for WWTP H is also increased (PAC dosing into the biology).
- The specific activated carbon consumption depends on the industrial influence and EMP process.

5.10 Oxygen consumption

Definition: The oxygen consumption shown refers to the annual quantity dosed into the ozone generators (NOT the quantity delivered).

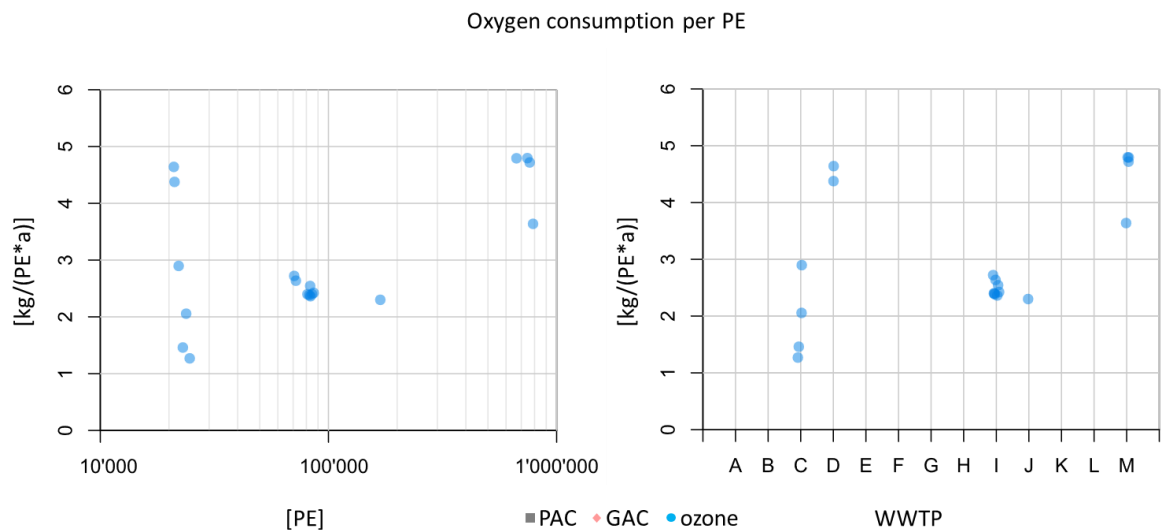


Figure 23: Oxygen consumption per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

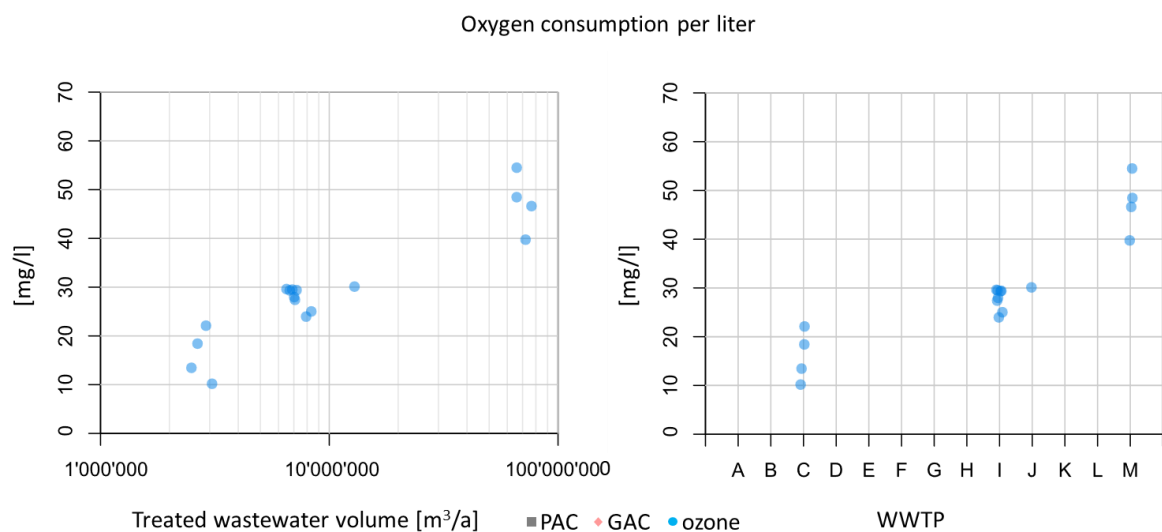


Figure 24: Oxygen consumption per treated liter of wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The oxygen consumption is between approx. 1 - 5 kg/PE*a or 10 - 55 mg/l
- The estimated ozone consumption in the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7] was 3 - 5 mg O₃ /l. Assuming that the proportion of ozone in the process gas is 10%, the expected specific oxygen consumption is 30 - 50 mg/l. The values observed in this study are in good agreement with these estimates.
- Oxygen consumption is at an increased level (+10-15%) due to increased nitrite values in the ozonation feed to WWTP M. In addition, the VPSA plant is operated at full load for efficiency reasons. Accordingly, more process gas is fed to the ozone generators and reactors (with a lower ozone concentration but a higher process gas volume).

5.11 Primary energy consumption

Definition: Primary energy consumption is calculated from electricity consumption and imported operating resources (production + transportation). Resource consumption from the construction of plants is not taken into account.

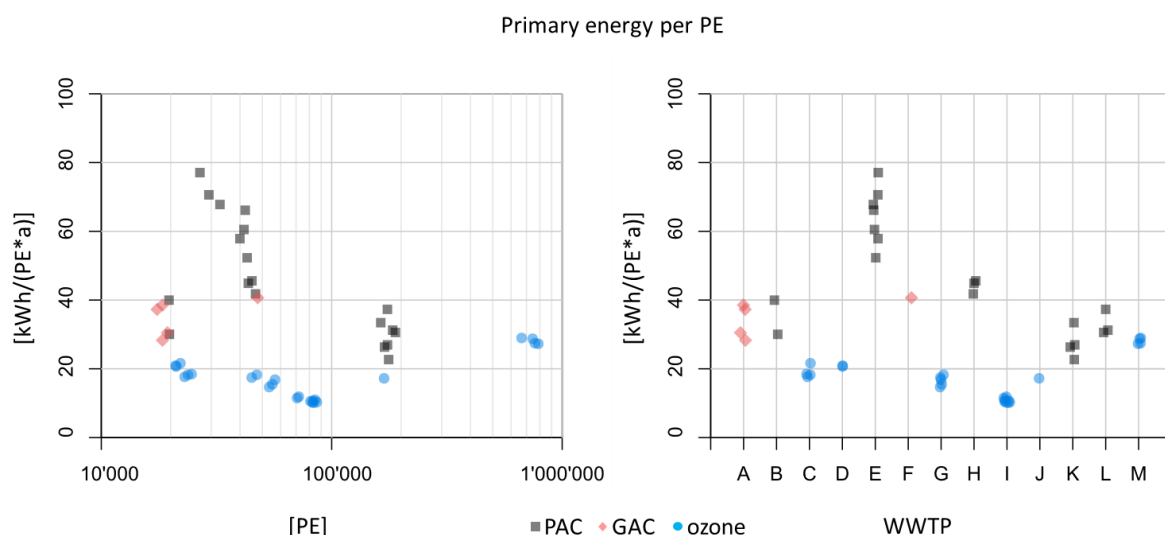


Figure 25: Primary energy consumption per inhabitant. Left: x-axis by PE. Right: x-axis by WWTP ID (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

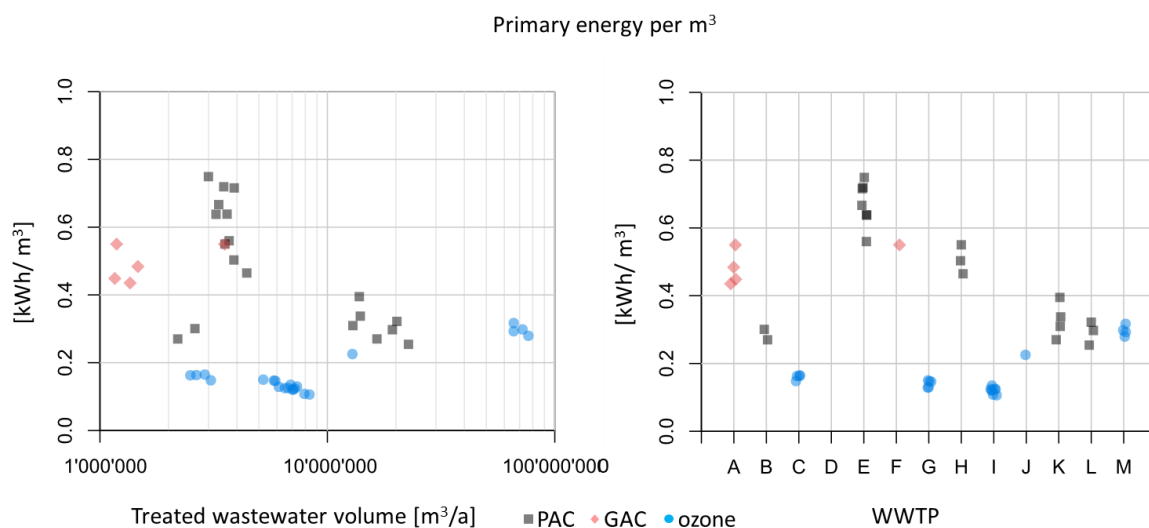


Figure 26: Primary energy consumption per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The primary energy consumption of the MP stages is in the range between 10 - 80 kWh/PE*a or 0.1 - 0.8 kWh/m³.

The primary energy consumption observed compares as follows with the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7]:

- Ozone systems
 - Observed primary energy consumption: 10 - 30 kWh/PE*a or 0.1 - 0.3 kWh/m³
 - Estimated average primary energy consumption: 38 kWh/PE*a or 0.3 kWh/m³ [7]
- PAC plants
 - Observed primary energy consumption: 22 - 80 kWh/PE*a or 0.25 - 0.8 kWh/m³
 - Estimated average primary energy consumption 45: kWh/PE*a or 0.37 kWh/m³ [7]
- GAC plants
 - Observed primary energy consumption: 30 - 40 kWh/PE*a or 0.4 - 0.6 kWh/m³
- The primary energy consumption of the systems largely corresponds to the ratios in "Total electricity consumption MP". This shows that the primary energy consumption is mainly determined by the electricity consumption of the installations.
- Primary energy consumption shows that the ozone plants, including plant M, are at a similar level. In terms of primary energy consumption, the effects of the increased electricity consumption of WWTP M for oxygen production offset the primary energy consumption for liquid oxygen in the remaining ozone plants. Plant I is an exception due to the fact that it does not include the lifting station.
- Ozone systems tend to have a lower primary energy consumption than activated carbon processes.

5.12 CO₂ equivalents

Definition: The CO₂ equivalents are calculated from electricity consumption and imported operating resources (production + transportation). Resource consumption from the construction of the plants is not taken into account. Two scenarios were considered for activated carbon: Activated carbon production from both fossil and biogenic raw material sources (see graphic labels).

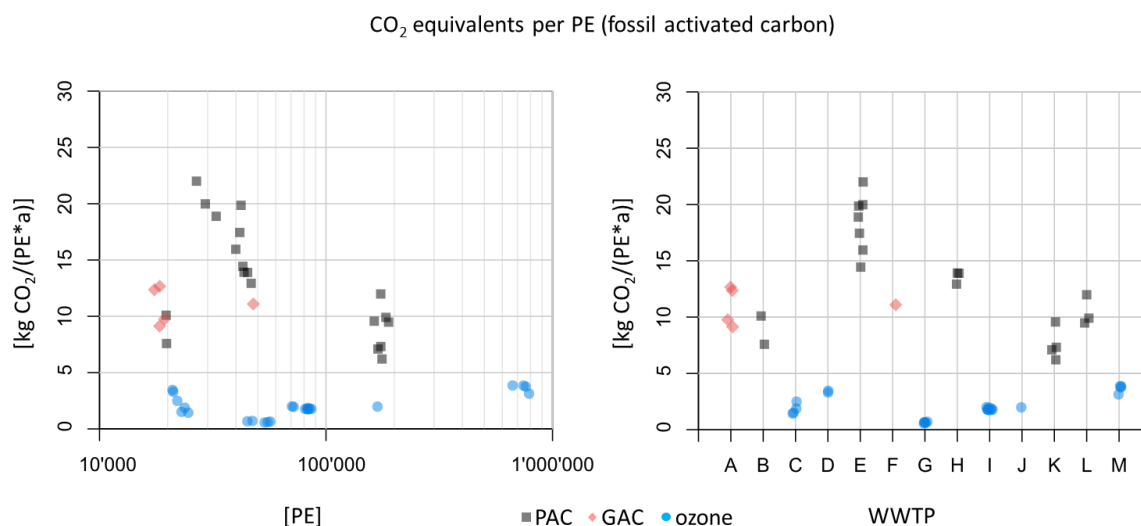


Figure 27: CO₂ equivalents (fossil carbon) per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis according to ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

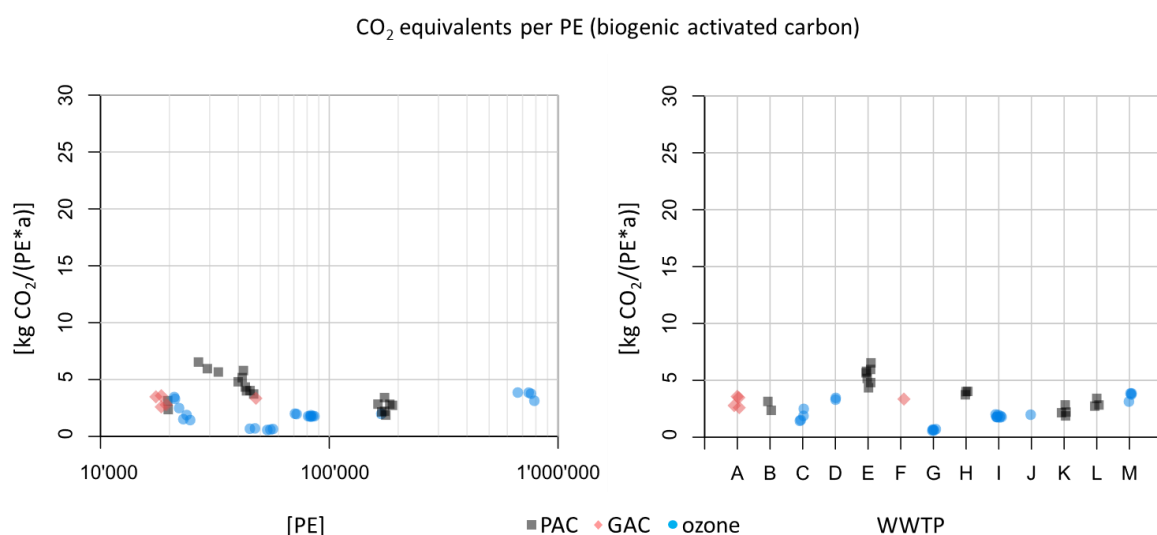


Figure 28: CO₂ equivalents (biogenic carbon) per PE. Left: x-axis by PE. Right: x-axis according to ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

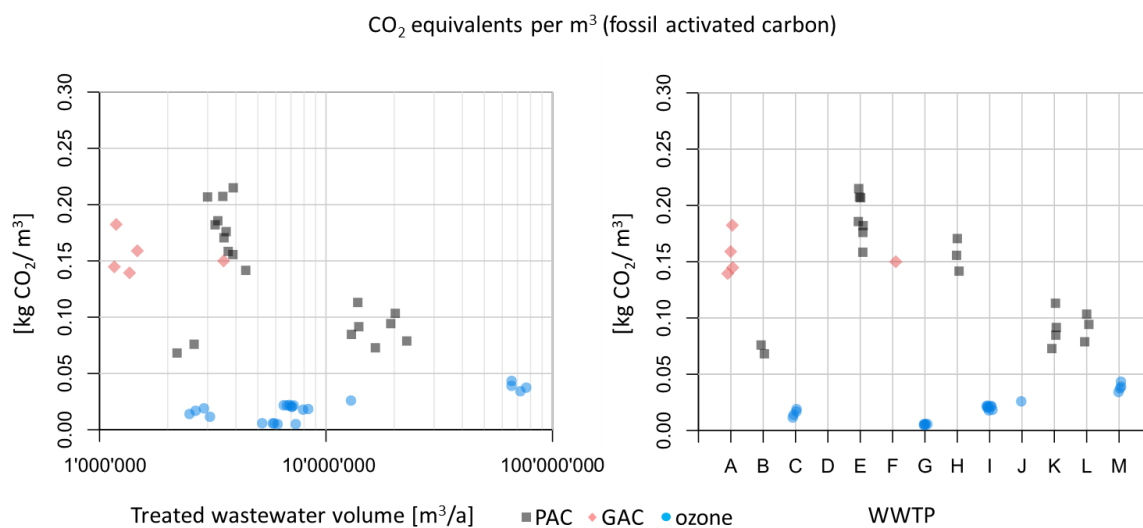


Figure 29: CO₂ equivalents (fossil carbon) per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

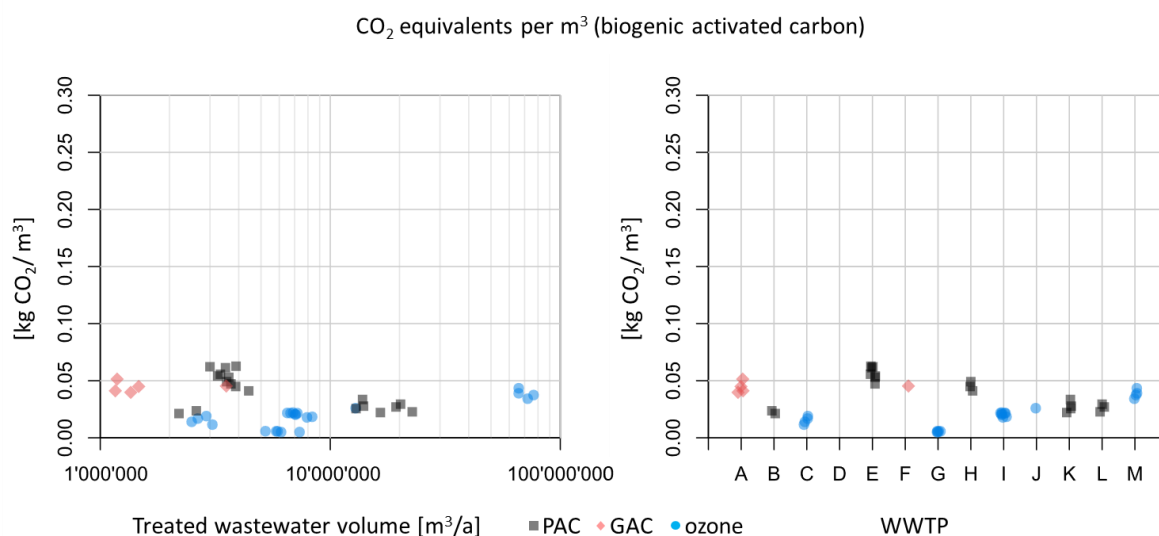


Figure 30: CO₂ equivalents (biogenic carbon) per treated m³ wastewater. Left: x-axis by treated m³. Right: x-axis by ID WWTP (the horizontal shift of the data points is only for better differentiation of the individual points and has no further significance). Each data point corresponds to one year of operation.

Observations, interpretations and explanations:

- The CO₂ equivalents for ozone systems are in the range between 1 - 4 kg CO₂ /PE*a or 0.01 - 0.05 kgCO₂/m³
 - The CO₂ equivalents of activated carbon systems for activated carbon produced from fossil raw materials are in the range of 6 - 23 kgCO₂/PE*a or 0.06 - 0.23 kgCO₂/m³
 - The CO₂ equivalents of the MP stages for activated carbon produced from biogenic raw materials are in the range of 3 - 7 kg CO₂/PE*a or 0.0 - 0.06 kg CO₂/m³
 - When using fossil carbon, activated carbon plants have significantly higher CO₂ equivalents than ozone plants. When using carbon from renewable sources, the CO₂ equivalents of activated carbon plants are in a similar range to the CO₂ equivalents of ozone plants.
 - The CO₂ emissions for the production of activated carbon depend heavily on the source material and the degree of combustion of the raw material. A medium factor was therefore assumed for fossil carbon. Depending on the raw material used, the CO₂ equivalents can also be significantly higher. A detailed derivation of the calculation factors can be found in the VSA recommendation from 2018 [1].
-

6 Conclusion

6.1 Costs

- Cost comparisons and trends: Based on the specific replacement values, it can be stated: The direct dosing of PAC into the biology tends to be favorable compared to ozonations and other activated carbon processes. However, there are no systematic cost differences between ozonations, PAC processes and GAC processes.
- Dispersion and individual character of each WWTP: The replacement values as well as the operating costs showed a strong dispersion. Each WWTP or wastewater treatment stage must be considered as an individual case. This is due to the specific conditions such as the composition of the wastewater, the properties of the subsoil, the layout of the plant, the process management and the networking with the rest of the plant system.
- Total cost forecasts: Rough total cost forecasts for the whole of Switzerland can be derived from the collected data. A larger number of analyzed plants would further improve the accuracy of such forecasts.
- Forecasts for individual cases: It is not possible to make precise forecasts for the costs of individual systems based on the data from this study, as these depend heavily on individual circumstances.
- Scale effect: Depending on the normalization parameters (per PE, per resident, per Q_{dim}), the specific replacement values shift relative to each other, for example due to different industry shares. Clear scale effects can therefore not be observed.
- Data quality: In some cases, only incomplete cost data was available for existing plant components. The replacement values had to be estimated in some cases. The distinction between personnel and general material costs is also subject to accounting imprecision.

6.2 Power consumption

- Electricity consumption tends to be higher for the operation of ozonations than for activated carbon processes.
- The power consumption of the post-treatments depends largely on the pumping height of the MP stage. There are no systematic differences between ozone, PAC or GAC processes.
- On the basis of primary energy consumption, which takes imported operating resources into account, there are no clear differences between the processes.
- There are inaccuracies in the data collection of operating equipment. For example, the electricity consumption of equipment, such as compressors for pneumatic drives or service water pumps, could not be included in the total electricity consumption in some cases.

6.3 Consumption of operating resources

- For ozonations, the wastewater composition (industrial influence) and the nitrite content in the influent to the MP stage have an influence on oxygen consumption. However, operational aspects such as the load management of VPSA plants can also lead to increased oxygen consumption.
- For activated carbon plants, the composition of the wastewater (industrial influence) has a particular influence on the carbon requirement.
- No systematic differences in activated carbon consumption were found between PAC and GAC plants. So far, however, only a small amount of data is available on the activated carbon consumption of GAC plants in Switzerland. A further comparison between PAC and GAC plants in a few years' time is desirable.

6.4 CO₂ equivalents

- In terms of CO₂ equivalents, activated carbon plants have a larger footprint than ozone plants. The use of carbon products from renewable raw materials and the reactivation of carbon in activated carbon plants offers great potential for reducing CO₂ emissions for activated carbon plants.

6.5 General

- The order of magnitude of the key figures determined is in good agreement with the estimates from the study by Abegglen and Siegrist (2012) [7].
- The definition of data collection (VSA recommendation from 2018 [1]) has proven to be appropriate for this study. The normalization parameters have different meanings depending on the input variable:
 - The PE indicate the load on the MP system. This load is relevant for the operating costs and consumption of operating resources. For the construction costs or the replacement value, the PE play a subordinate role.
 - The connected residents are relevant due to the Water Protection Act and the financing of the plant by the federal government. The connected residents play a subordinate role for the dimensioning or load.
 - Q_{dim} is decisive for the construction costs or the replacement value of an MP stage, as the basins and filter sizes are designed according to the hydraulic residence time.

6.6 Outlook

- Due to the relatively large observed scatter of the data, it is not recommended to form regression curves or mean values from the key figure data. Each MP stage is an individual case that was designed for individual requirements. This means that planning principles for future plants cannot be derived from the available data. However, the data is suitable for consideration in a national context.
- Only a few systems have been evaluated so far. In the near future, some new plants will be commissioned, which could benefit from the experience gained so far during the planning phase. A further evaluation in a few years with a comparison between the "older" and "newer" systems is very desirable.
- The key figures provide a solid basis for comparisons with future investments and are very useful for recognizing developments over time.

List of abbreviations and translations

Abbreviations

WWTP	Wastewater treatment plant
AC	Activated carbon
a	Year
d	Day
Pconnected	Connected residents
EMSRL	Electrical, measurement, control and instrumentation technology
EMT	Electromechanical installations
EMP	Elimination of micropollutants
PE	Population equivalent
GAC	Granulated activated carbon
h	Hour
HVACS	Heating, ventilation, air conditioning and sanitary technology
KEV	Cost-covering feed-in remuneration
MP	Micropollutants
MP stages	Stages for the elimination of micropollutants
PAC	Powdered activated carbon
Q _{dim}	Dimensioning water quantity
VSA	Association of Swiss Wastewater and Water Protection Experts

Appendix

- Profiles of the investigated MP stages

MV Elimination mit PAK, ARA Esslingen / Egg-Oetwil am See

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit Sommer 2020

Situation ARA Esslingen:

Belastung Ausbauziel	Einwohnerwerte (EW)
Einwohner	13'700
Industrie	3'300
Total	17'000
Zulauf	
Max. Zulauf bei Trockenwetter	96 l/s
Max. Zulauf bei Regenwetter	200 l/s
Max. Zulauf inkl. Rückläufe	210 l/s



Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Sandfang, Rechenanlage und Vorklärbecken
Biologische Stufe	Anoxzone, belüftete Zone und Nachklärung
Chemische Stufe	Phosphatfällung (Biologie / vor Filter)
Elimination von Mikroverunreinigungen	PAK vor Sandfilter und PAK in Biologie
Filter	Zweischicht-Sandfilter (Flockungsfiltration)

Ziel und Hintergrund

Die Gewässerschutzverordnung sieht vor, dass unter anderem Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, die in ein Fließgewässer mit einem Anteil von mehr als 10% bezüglich organische Spurenstoffe ungereinigtes Abwasser einleiten, eine Stufe zur Elimination von organischen Spurenstoffen installieren. Aufgrund des Verdünnungsverhältnisses im Vorfluter Mülibach (80% davon gereinigtes Abwasser) erfüllt die ARA Esslingen dieses Kriterium. Die Kläranlagenkommission hat daher im Juni 2018 dem Projekt «Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) vor die bestehende Sandfiltration mit möglicher Rückführung in die Biologie» zugestimmt und den erforderlichen Kredit von CHF 1'680'000 (inkl. MwSt.) bewilligt.

Art des Projektes

Aufgrund der Zusammensetzung des Abwassers wurde ein Reinigungsverfahren mit Pulveraktivkohle gewählt. Eine beim Bau der Filtration ursprünglich gedachte und im Rahmen des Projekts geprüfte Ozonung kam wegen den sehr hohen Frachten an Bromid im Zulauf nicht in Frage. Innerhalb des Projekts wurden insbesondere folgende Massnahmen umgesetzt:

- Installation einer Silo-Anlage zur Lagerung der PAK.
- Neubau eines Technikellers mit den Installationen zur PAK-Dosierung.
- Umbau des bestehenden und vorher noch ungenutzten Reaktionsbeckens (angedacht für eine Ozonung) zu einem Flockungsreaktor: Einbau von Zwischenwänden und Rührwerken.
- Installation von Messtechnik zur Überwachung des PAK-Schlupfs (Trübungsmessung) und zur Regelung der PAK-Dosierung (UV-Absorbanzmessungen).
- Leitungen zu den Dosierstellen der PAK-Suspension (Flockungsreaktor oder Biologie) und Anpassung der Rückführung des Schlammwassers der Filtration (zusätzlich in die Biologie).

Kontakt:

Betreiber:

Zweckverband ARA Egg-Oetwil am See
www.ara-esslingen.ch
 Philipp Oberholzer
 Tel. +41 44 984 17 60

Projektingenieur:

Hunziker Betatech AG
www.hunziker-betatech.ch
 Andreas Büeler
 Tel. +41 52 234 50 50

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Flockungsreaktor und Filter	l/s	210
min. Kontaktzeit im Flockungsreaktor	min	19
Max. Filtergeschwindigkeit bei n = 4 Zellen / bei n-1 = 3 Zellen	m/h	12.4 / 16.6
Dosierung PAK	mgPAK/l	ca. 10 (Bereich von 5 bis 20 möglich)
Dosierung FeCl ₃ (Nachfällung)	mgFe/l	ca. 1.0
Rückführung PAK-Überschussschlamm	In die Biologie (Normalfall) oder in den Sandfang	
PAK-Typ	Donau Carbon, Carbopal AP (bei IBS), ab Februar 2021 CSC, Pharma Clean	

Kurzbeschreibung

Die PAK wird trocken in einem Silo gelagert. Über eine Dosiereinrichtung wird sie benetzt, in Brauchwasser eingemischt und dann als Suspension in den Flockungsreaktor dosiert. Die PAK wird in der Zweischicht-Sandfiltration vom Abwasser abgetrennt (d.h. bis zur nächsten Rückspülung zur Spurenstoffadsorption «eingelagert») und gelangt anschliessend über das Filterrückspülwasser (Schlammwasser) in die Biologie. Dort wird sie über den Überschussschlamm und letztlich mit dem Klärschlamm ausgeschieden. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit PAK direkt in die Belebungsbecken zu dosieren («Direktdosierung» in die Biologie).

Verfahrensschema

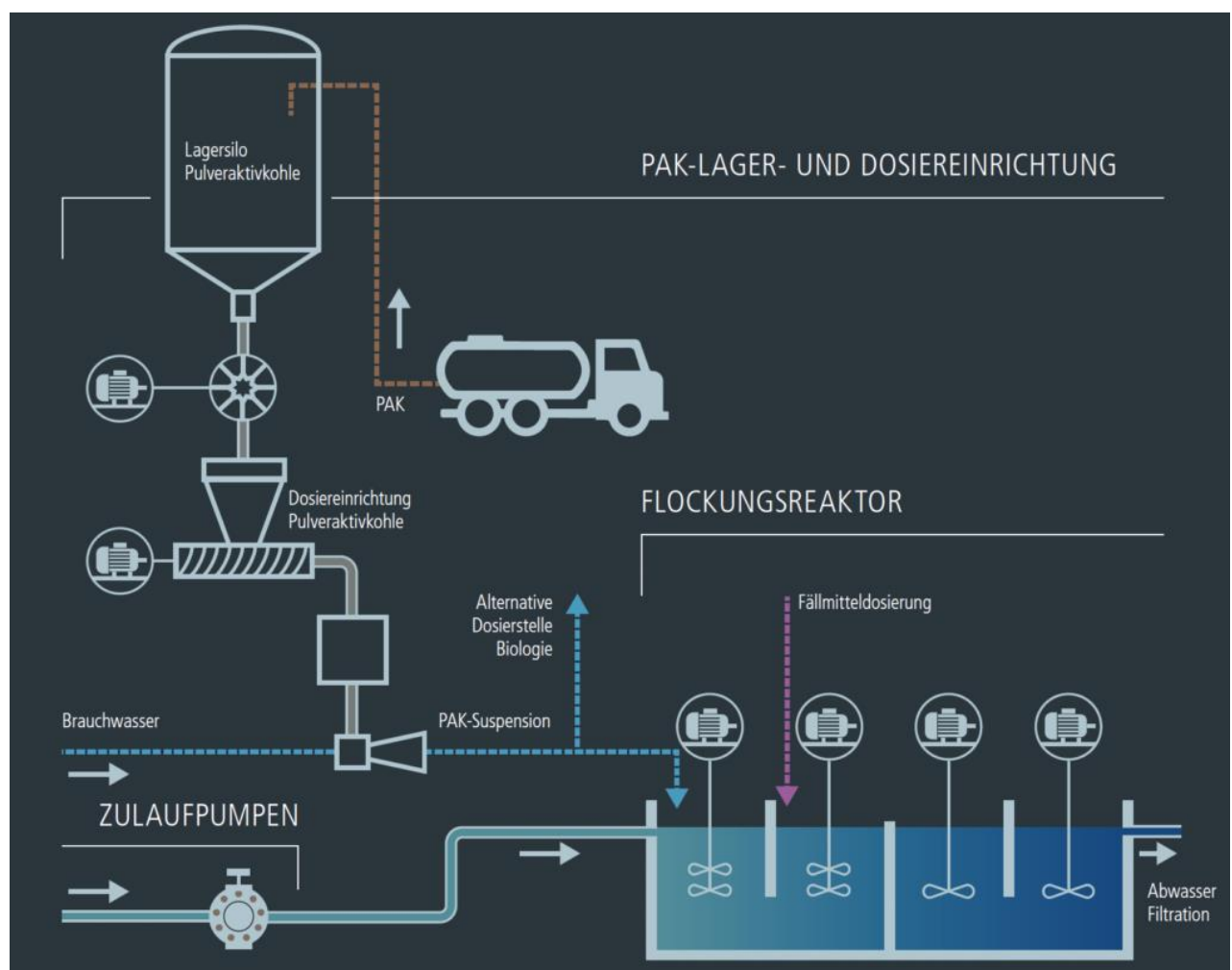


Abbildung 1: Verfahrensschema der Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Esslingen

Ozonung ARA Eich, Bassersdorf

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit Juni 2018

Situation ARA Bassersdorf:

Belastung Ausbauziel	Einwohnerwerte (EW)
Einwohner	23'000
Industrie	5'000
Total	28'000

Zulauf

Trockenwetter	125 l/s
Max. Zulauf bei Regenwetter	250 l/s

Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grob- und Feinrechen, Sandfang, Vorklärung
Biologische Stufe	Biologie (Nitrifikation, Denitrifikation), Nachklärung
Chemische Stufe	Phosphatfällung (Zugabe Aluminiumsalze in Zulauf Biologie)
Elimination von Mikroverunreinigungen	Ozonung
Filter	Nachgeschaltete 1-Schicht-Filtration



Ziel und Hintergrund

Die Änderung der Gewässerschutzverordnung (in Kraft seit 1. Januar 2016) sieht vor, dass unter anderem Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, die in ein Fließgewässer mit einem Anteil von mehr als 10% bezüglich organische Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser einleiten, eine Stufe zur Elimination von organischen Spurenstoffen installieren. Dies betrifft die ARA Bassersdorf mit heute rund 19'000 angeschlossenen Einwohner und dem Vorfluter Dietliker Altbach (kumulativer Abwasseranteil im Gewässer 75%). Gemäss der Planung des Kantons Zürich soll die ARA Bassersdorf bis 2025 ausgebaut sein. Da die ARA in naher Zukunft ihre Kapazitätsgrenze erreichen wird, hat sich der Gemeindeverband für eine rasche Umsetzung entschlossen. Die Delegierten haben dem Kredit von rund 14.4 Mio. Franken im Sommer 2015 zugestimmt. Der Spatenstich erfolgte am 21. März 2016. Rund 75% der Erstinvestitionen wurden durch den für diese Ausbauten eingerichtete Bundesfonds gedeckt.

Art des Projektes

Auf der ARA Bassersdorf wurde der Biologie eine Ozonung mit einem Ozonreaktor (250 m³), und 4 Filterzellen (1.5 m Filterbetthöhe) nachgeschaltet. Der Flüssigsauerstoff wird in einem Tank (20 m³) gelagert. Es handelt sich um eine Vollstromanlage.

Kontakt:

Betreiber:

Zweckverband ARA Bassersdorf
Michael Nauer, Aktuar:
044 838 85 25

Patrick Sonderegger
Klärmeister
044 836 74 73

Projektingenieur:

Simone Bützer, Hunziker
Betatech AG, Zürich
043 344 32 85

Bauherrenberatung:

Bernhard Buchli
TBF + Partner AG
043 255 23 61

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf Ozonung	l/s	250
max. Ozondosierung bei $Q_{TW, max}$	gO_3/m^3	1.7
Spezifische Ozondosierung	$mgO_3/mgDOC$	0.35
Ozonproduktion (bei 10% und Kühlwasser-Temperatur 20 °C)	kg/h	4.2
Aufenthaltszeit im Ozonreaktor bei Q_{max}	min	16.6
Aufenthaltszeit im Ozonreaktor bei Q_{TW}	min	33
Volumen Ozonreaktor	m^3	250
Wassertiefe	m	7
Anzahl Begasungskammer	-	2
Anzahl Filterzellen	-	4
max. Filtergeschwindigkeit	m/h	15
max. Zulauf Filter	l/s	250

Kurzbeschreibung

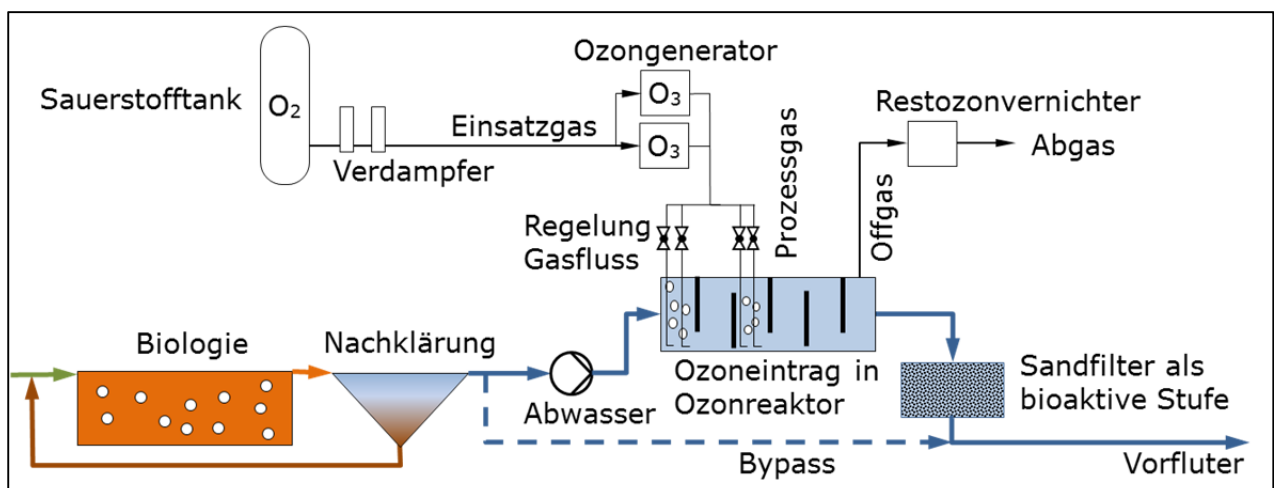
Es handelt sich um eine einstrassige Vollstrom-Anlage mit einer nachgeschalteten Einschiebfiltration (1.5 m Quarzsand). Der Kontaktreaktor wird längs durchflossen und besteht aus 6 Kammern, davon zwei Begasungskammern. Die Diffusoren sind jeweils in 2 Feldern angeordnet.

Zur Sicherheit und Anlagenüberwachung sind folgende Messungen installiert:

- Raumluftüberwachung mit Alarmierung und Sturmlüftung im Notfall
- Restozonmessung im Off-Gas
- Ozonmessung in der Gasphase des Ozonreaktors
- Schutzausrüstung für O3 vorhanden (Schutzmaske, Gaswarngerät)

Schema

Abbildung 1:



Ozonation à la STEP de Porrentruy

Situation STEP de Porrentruy

Charge	Equivalent Habitant (EH)
Habitants	20'000
Industrie	5'000
Total	25'000
Débit	
Temps sec moyen	110 l/s
Débit max en temps de pluie	500 l/s
Procédés de traitement	
Traitement mécanique	Dégrilleur grossier et fin, dessableur aéré, déshuileur, décanteur primaire
Traitement biologique	Bassins de boues activées, décanteurs secondaires
Traitement chimique	Précipitation simultanée



Contexte

Suite à la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) au 1^{er} janvier 2016, le Canton du Jura a proposé une planification selon laquelle la STEP de Porrentruy, avec ses 17'000 habitants raccordés et son rejet d'eau épurée représentant plus de 10% du débit de l'Allaine, figure parmi les stations devant s'équiper.

Type de projet

Un traitement des micropolluants par ozonation et filtration sur sable a été réalisé pour un coût total de 4,5 millions de CHF. L'étude du projet de construction de la station de traitement des micropolluants et les demandes d'autorisations se sont déroulées de 2015 à 2018, les travaux ont été réalisés de novembre 2018 à octobre 2020. Réalisée conformément aux plans et dans le respect du budget, la nouvelle installation permet d'abattre plus de 80% des micropolluants indicateurs avec un fonctionnement stable et régulé.

Contacts:

Exploitant

Station d'épuration de
 Porrentruy et environs
 (SEPE)
info@sepe-porrentruy.ch

Ingénieur:

RWB Groupe SA
 Jonas Margot
 Daniel Urfer
jonas.margot@rwb.ch
 058 220 39 07

Fournisseur :

Wabag Wassertechnik

Dimensionnement et technique de traitement

	unité	valeur
Débit max de l'étape de traitement des micropolluants	l/s	300
Quantité d'ozone dosée maximale	gO ₃ /gCOD	0.75
Nombre de générateurs d'ozone	-	1
Production maximale d'ozone par générateur	kgO ₃ /h	4.2
Volume du réacteur de contact	m ³	167
Profondeur d'eau dans la chambre d'injection	m	5.7
Nombre de compartiments d'injection d'ozone	-	1
Durée de rétention dans le réacteur au débit maximal	min	9.3
Durée de rétention dans le réacteur par Q _{TS} moyen	min	25
Vitesse de filtration au débit maximal (n-1 filtres)	m/h	13.3
Temps de contact par débit moyen	min	15

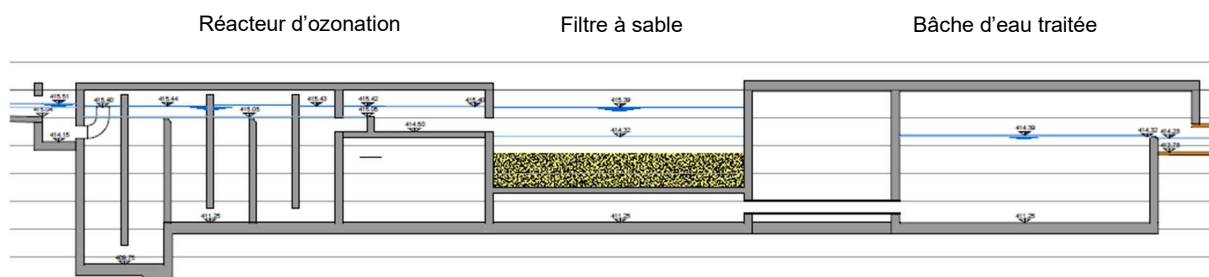
Description de l'installation

L'ozone est généré sur place à partir d'oxygène liquide. Celui-ci est stocké dans une citerne cryogénique de 11.5 m³ et acheminé sous forme gazeuse grâce à deux évaporateurs. A partir de l'oxygène gazeux, un gaz ozoné (7-14% d'ozone) est produit par un générateur d'ozone d'une capacité de 4.2 kg O₃/h. Le générateur d'ozone est refroidi par échangeur de chaleur dans les eaux traitées. L'élimination des micropolluants est effectuée dans un réacteur de contact comprenant 3 chambres, c'est-à-dire 6 compartiments. L'ozone est injectée à contre-courant dans la première chambre à l'aide de dômes. Les eaux ozonées sont filtrées sur quatre lignes de filtres à sable monocouches (1.25 m de média filtrant (anthracite, Ø = 1.6-2.5 mm). L'objectif de la filtration sur sable est d'obtenir une activité biologique pour la dégradation des produits d'oxydation potentiellement toxiques, ainsi que la rétention des matières en suspension (MES).

L'installation est équipée d'un système d'alarme optique et sonore pour avertir l'exploitant en cas de fuite d'ozone ou d'oxygène dans les locaux. La détection d'une fuite arrête automatiquement la production d'ozone et enclenche la ventilation pour garantir la sécurité des exploitants. Les gaz viciés (>90% d'oxygène avec des traces d'ozone) sont récupérés à la surface du réacteur et traités par un destructeur d'ozone thermo-catalytique.

L'installation traite les micropolluants conformément à la législation depuis septembre 2020. Des tests de performances ont été réalisés d'octobre 2020 à septembre 2021 afin d'optimiser le fonctionnement et le dosage d'ozone. Selon le choix de l'opérateur de la STEP, l'ozone peut être dosé en fonction de (i) débit d'eau, (ii) absorbance UV254nm dans les eaux en entrée du réacteur, (iii) différence d'absorbance UV254nm dans les eaux entre l'entrée et la sortie du réacteur, et (iv) concentration d'ozone dissous résiduel en fin de réacteur. Les premiers résultats de fonctionnement montrent une bonne élimination des micropolluants dans différentes conditions de traitement.

Schéma



Auftraggeber

Gemeinde Herisau

Objekt

ARA Bachwis: PAK-Stufe

Kosten

Gesamtkosten CHF 4.6 Mio.

zeitlicher Ablauf

Bauprojekt 07.2013

Realisierung 08.2013-05.2015

Inbetriebnahme 06.2015

Projektleitung

KUSTER + HAGER

Ingenieurbüro AG St. Gallen

Oberstrasse 222

9014 St. Gallen

**Kurzbeschreibung / Kennzahlen**

Grösse ARA 34'000 EW

 $Q_{\max}$ 300 l/s

Biologie Attisholz-Verfahren

PAK-Stufe Ulmer Verfahren

Die PAK-Stufe ist eine zweistrassige Anlage nach dem "Ulmer Verfahren".

Dabei wird die Pulveraktivkohle in Reaktionsbecken mit mindestens 30 Minuten Kontaktzeit zudosiert und in einer nachfolgenden Sedimentationsstufe vom Abwasserstrom abgetrennt.

Anschliessend wird der Ablauf der PAK-Stufe über den bestehenden Sandfilter geführt.

Die Anlage ist auf $Q_{\max} = 170$ l/s dimensioniert und entspricht so einer Teilstrombehandlung. Damit werden im Durchschnitt ca. 90% der gesamten Jahresabwassermenge der ARA Herisau behandelt.

Die Überschussskohle aus der PAK-Stufe wird in die 2. Stufe der biologischen Reinigung der ARA Herisau zurückgeführt. Dort wirkt die PAK zusätzlich bezüglich Elimination von DOC und Mikroverunreinigungen, bevor sie zusammen mit dem biologischen Überschussschlamm der Schlammverwertung zugeführt wird.

Bei einer Dosierung von 20 mg/l PAK erreicht die PAK-Stufe eine Entnahme von grösstenteils weit über 80% bzgl. Mikroverunreinigungen und eine sehr gute Elimination der aus industriellem Abwasser stammenden Schaum- und Farbprobleme sowie refraktärem DOC.

Besonderheiten

- Neubau einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen mittels Pulveraktivkohle (PAK)
 - Integration in bestehende Anlage zwischen Biologie und Filtration ohne zusätzliches Hebewerk
 - Anspruchsvoller Baugrund in Hanglage
 - Problematisches Textilabwasser
 - Sehr kleiner und sensibler Vorfluter
- Sehr hohe Anforderungen an Entfärbung, Entschäumung und DOC-Elimination



Zweistufige Biologie der ARA Herisau



Sedimentationsbecken PAK-Stufe (links Filter)

Unsere Leistungen als Planer

- Gesamte Planerleistungen bis und mit Abnahme
- Betriebsbegleitung Juni 2015 – Ende 2017



Reaktionsbecken der PAK-Stufe mit PAK-Silo

Auftraggeber

Abwasserverband Aachtal, Hefenhofen

Objekt

Elimination von Mikroverunreinigungen

Kosten

Gesamtkosten CHF 1.99 Mio.

Zeitlicher Ablauf

Bauprojekt 2018

Realisierung 2018 – 2021

Inbetriebnahme 2021

Projektleitung

KUSTER + HAGER

Ingenieurbüro AG St. Gallen

Oberstrasse 222

9014 St. Gallen

**Kurzbeschreibung / Kennzahlen**

Grösse der ARA 41'700 EW

Trockenwetter: 150 l/s

Die ARA Moos bei Amriswil reinigt die Abwasser von insgesamt 9 Gemeinden und verfügt über eine bestehende Filtration im System DynaSand.

Mit der Umnutzung der bestehenden Sandfiltration in eine Filtration mit GAK müssen keine neuen Becken gebaut werden. Das Verfahren schneidet daher bei der Wirtschaftlichkeit sehr gut ab und ist für den ARA-Betrieb mit verhältnismässig geringem Aufwand verbunden.

Mit dem Umbau der ersten Filtereinheit ist die ARA Moos die schweizweit erste Kläranlage mit einer GAK-Filtration im System DynaSand.

Dem erfolgreichen einjährigen Versuchsbetrieb (bis Anfang 2020) in einem der insgesamt 4 Filterbecken folgt der Ausbau der gesamten Filtration in eine GAK-Filtration.

Besonderheiten

- 1. GAK Filtration auf ARA in der Schweiz im System DynaSand
- Separate Beschickung der einzelnen Filterzellen für einen gestaffelten und parallelen Filtrationsbetrieb



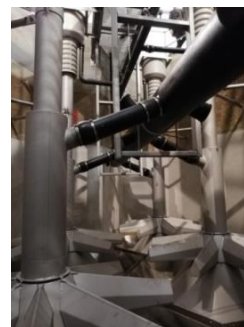
ARA Gelände mit Filtrationsgebäude im Hintergrund



Filtereinheit "DynaSand" ohne Filtermaterial

Unsere Leistungen als Planer

- Variantenstudie
- Planung, Durchführung und Auswertung Pilotversuch
- Bau- und Ausführungsprojekt
- Bewilligungsverfahren
- Bauleitung



Innenansicht des Filters vor der Befüllung

ANLAGESTECKBRIEF - August 2017

Ozonung auf der ARA Reinach, Abwasserverband Oberwynental

Situation ARA Reinach:

Belastung	Einwohnerwerte (EW)
Einwohner	30'000
Industrie	15'000
Kapazitätsreserve	15'000
Total	60'000
Zulauf	
Trockenwetter	240 l/s
Max. Zulauf bei Regenwetter	410 l/s

Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Rechen, Sandfang, Vorklärung
Biologische Stufe	Belebtschlamm-Anlage mit Nitrifikation und Denitrifikation
Chemische Stufe	Phosphatfällung
Filtration	Sandfilter (1-Schicht-Filter)



Ziele und Hintergrund

Die Kläranlage Reinach des Abwasserverbandes Oberwynental wurde 2015 erneuert und auf zirka 60'000 EW ausgebaut. Da die Kläranlage den Vorfluter Wyna mit einem ungünstigen Verdünnungsverhältnis belastet, wurde im Rahmen des Ausbauprojekts eine Ozonung mit nachgeschalteter Raumfiltration realisiert.

Die Anlage wurde termingerecht im Herbst 2016 in Betrieb genommen. Es handelt sich somit um die zweite Anlage zur Elimination von Mikroverunreinigungen in der Schweiz auf der Basis einer Ozonung.

Art des Projektes

Aus dem durchgeführten Variantenstudium zur Evaluation des geeigneten Verfahrens resultierte, dass für die ARA Reinach die Ozonung mit Anlieferung von Reinsauerstoff, d.h. ohne eigene Anlage zur Reinsauerstoffherstellung, die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Mit den anschliessend durchgeführten Laborversuchen wurde gezeigt, dass die Mikroverunreinigungen mit Ozon ausreichend oxidiert werden können, ohne dass toxische Nebenprodukte wie Bromat in relevanten Konzentrationen gebildet werden.

Projektbeteiligte:

Betreiber:
 Abwasserverband
 Oberwynental
 062 771 37 03
 (Kläranlage Reinach)

Gesamtplanung:
 Holinger AG, Baden

Bauherrenberatung:
 Kappeler Concept AG,
 Chur

Ozonung und Filtration:
 WABAG Wassertechnik AG,
 Winterthur

Dimensionierungsgrundlagen

	Einheit	Wert
Max. Abwassermenge durch MV-Stufe (inkl. Rückläufe)	l/s	425
Max. Ozondosierung bei $Q_{TW,max}$ (240 l/s)	mgO ₃ /m ³	6
Ozonproduktion (bei 10% und Kühlwasser-Temperatur 20 °C)	kg/h	2 x 2.6
Volumen Kontaktreaktor	m ³	2 x 180
Wassertiefe	m	6
Anzahl Begasungskammer	-	2
Aufenthaltszeit im Reaktor bei Q_{max}	Min	14
Aufenthaltszeit im Reaktor bei $Q_{TW,max}$	Min	25
Anzahl Filterzellen	-	5
Fläche pro Filterzelle	m ²	22.5

Kurzbeschreibung

Es handelt sich um eine zweistrassige Vollstrom-Anlage mit einer nachgeschalteten Einschiebfiltration. Die beiden Kontaktreaktoren werden längs durchflossen. Jeder Reaktor besteht aus zwei Begasungskammern, wobei die erste Kammer 17 Diffusoren und die zweite Kammer 7 Diffusoren enthält. Die Diffusoren sind jeweils in 2 Feldern angeordnet. Das Ozon wird in ca. 6 m Tiefe eingetragen. Die Reaktoren werden mit je 50% des Durchflusses beschickt. Der Sauerstoff für die Ozonproduktion wird flüssig angeliefert.

Zur Sicherheit und Anlagenüberwachung sind folgende Messungen installiert:

- Raumluftüberwachung in redundanter Ausführung (2 Messgeräte) mit je 2 Sensoren für Sauerstoff und Ozon
- Restozonmessung im off-gas (bei zu viel Ozon wird die Ozonung gedrosselt)
- Ozonmessung in der Gasphase im Verteilkanal nach der Ozonung (bei Überschreitung der Stufe 1 wird Natrium-Bisulfit dosiert und bei Überschreitung der Stufe 2 wird der Generator abgestellt und weiter Natrium-Bisulfit dosiert).

Technologien:

- Ozonerzeugung: Typ OZONIA CFV-04
- Filtration: WABAG Raumfiltration

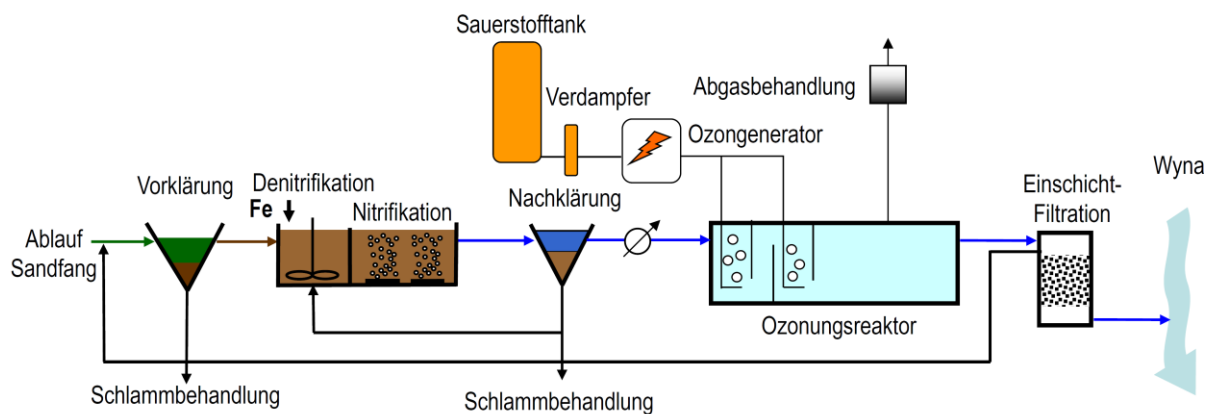


Abbildung 1: Fließschema ARA Reinach

Reinigungsleistung

Die geforderte Reinigungsleistung von 80 % kann mit der Anlage gut erreicht werden.

Betriebserfahrungen und Erkenntnisse

Anfänglich wurde das Ozon mengenproportional mit einer Plafonierung bei $Q_{TW,max}$ dosiert (5 g O_3/m^3 bei einer DOC-Konzentration von gut 7 g/ m^3 ergibt eine spezifische Dosierung von etwa 0.7 g O_3/g DOC). Zurzeit wird die Steuerung und Regelung der Ozondosierung über SAK-Sonden in Betrieb genommen, was eine Optimierung des Ozoneintrages erlauben wird.

PAK-Direktdosierung ARA Flos Wetzikon

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit Februar 2019

Situation PAK-Dosieranlage ARA Flos:

Ausbaugrösse

Einwohner (2018)	31'266
Einwohnergleichwerte (EWG)	37'000

Zulauf

Trockenwetter Mittelwert	100 l/s
Max. Zulauf bei Regenwetter (bestehend, vor Ausbau ARA)	450 l/s

Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Rechen, Sandfang, Vorklärung
Biologische Stufe	Belebtschlammanlage mit Tiefenbelüftung und Nitrifikation, A/I, Denitrifikation
Chemische Stufe	Phosphatfällung



Anlagenbeschreibung

Auf der ARA Wetzikon wird Pulveraktivkohle in die 2-strassige Belebtschlamm-Biologie dosiert. Die PAK wird in der Nachbelüftungszone zugegeben, da dort der DOC bereits sehr niedrig ist (Schema siehe Abbildung 1, Dosierort Abbildung 2). Die PAK gelangt mit der internen Rezirkulation zusammen mit dem Rücklaufschlamm in den vorderen Teil der Belebungsbecken. Dadurch wird die Aufenthaltszeit der PAK in der Biologie erhöht. Die PAK wird in einem Silo mit 100 m³ Volumen gelagert (siehe Abbildung 3) und nach der Anmischung mit Betriebswasser in die Biologie geleitet. Die PAK wird zusammen mit dem Belebtschlamm in der Nachklärung abgetrennt und gelangt mit dem Überschussschlamm in die Schlammbehandlung. Für eine zusätzliche Feststoffabtrennung wird das Abwasser noch über einen kontinuierlich durchflossenen Filter geleitet.

Kontaktpersonen:

Betreiber:
 Stadtentwässerung
 Wetzikon
 Thomas Bhend
 044'933'65'30

Planung:
 Holinger AG, Liestal
 Tel. 061 926 23 23

Dimensionierung und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Anlage	l/s	450 (Bestand, vor Ausbau ARA)
min. Kontaktzeit PAK in der Nachbelüftungszone	min	30
Volumen Belebungsbecken gesamt inkl. NB	m ³	2 x 1'035 + 2 x 2070 (Bestand, vor Ausbau ARA)
min. Aufenthaltszeit Sedimentation	h	2.3
max. Oberflächenbeschickung PAK-Sedimentation	m/h	1.6 (Bestand, vor Ausbau ARA)
Max. Zulauf Filter	l/s	450 (Bestand, vor Ausbau ARA)
Schichtdicke Filter	m	1.5

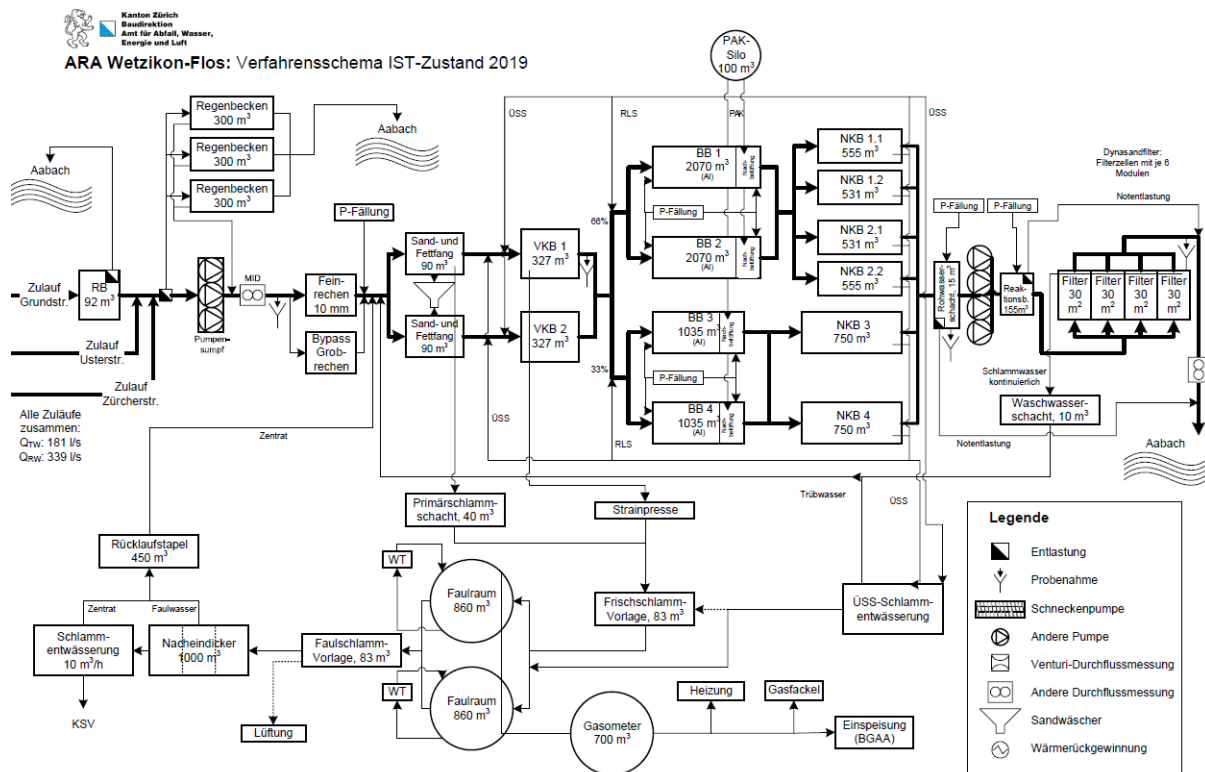


Abbildung 1: Verfahrensschema PAK-Dosierung



Abbildung 2: PAK-Dosierstelle in die Belebtschlamm-Biologie



Abbildung 3: PAK-Silo mit integrierter Dosierstation

Ausgangslage

Die ARA Wetzikon ist aufgrund ihrer Lage im Einzugsgebiet des Greifensee, den rund 32'000 angeschlossenen Einwohnern und dem schlechten Verdünnungsverhältnis im Vorfluter ausbaupflichtig. Zwischen 2012 und 2014 fand auf der ARA Wetzikon ein [Pilotversuch](#) statt, da es sich bei der Dosierung von PAK in die Belebtschlamm-Biologie um eine neue Anwendung von PAK handelt. Basierend auf den positiven Resultaten des Versuchs entschied die Stadtentwässerung Wetzikon, dieses Verfahren zu realisieren.

Realisierung und Kosten

Der Ausbau erfolgte im Jahr 2018. Seit Februar 2019 steht die Anlage in Betrieb (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3). Die Investitionskosten betrugen 860'000.- Franken (exkl. MwSt.).



Die erste Anlage der Schweiz zur Elimination von Mikroverunreinigungen

ARA**Neugut** – erste grosstechnische Ozonung

Mikroverunreinigungen (Reinigungsmittel- und Medikamentenrückstände, Pesticide u.a.) gelangen kontinuierlich in grossen Mengen via Kanalisationsleitungen in die Abwasserreinigungsanlagen. Die heutigen Reinigungsstufen auf Abwasserreinigungsanlagen halten diese Stoffe nur teilweise oder gar nicht zurück und so gelangen sie in die Oberflächengewässer, wo sie schädlich sind. Eine zusätzliche Reinigungsstufe soll dies in Zukunft verhindern.

Seit dem 24. März 2014 ist die erste volltechnische Anlage der Schweiz zur Elimination dieser Stoffe in Dübendorf in Betrieb. Die neue Gesetzgebung zur Elimination von Mikroverunreinigungen trat am 1. Januar 2016 in Kraft.

Die Abwasserreinigungsanlage Neugut weist folgende Reinigungsstufen auf:

- Mechanische Reinigung (Grob- und Feinrechen, Sand- und Fettfang, Vorklärung)
- Biologie mit biologischer Phosphatelimination, Nitrifikation und Denitrifikation
- Ozonung (Elimination der Mikroverunreinigungen)
- Sandfiltration mit möglicher Nachfällung.

Der anfallende Klärschlamm wird in einer anaerob mesophilen Faulung behandelt, entwässert und der thermischen Verwertung zugeführt.

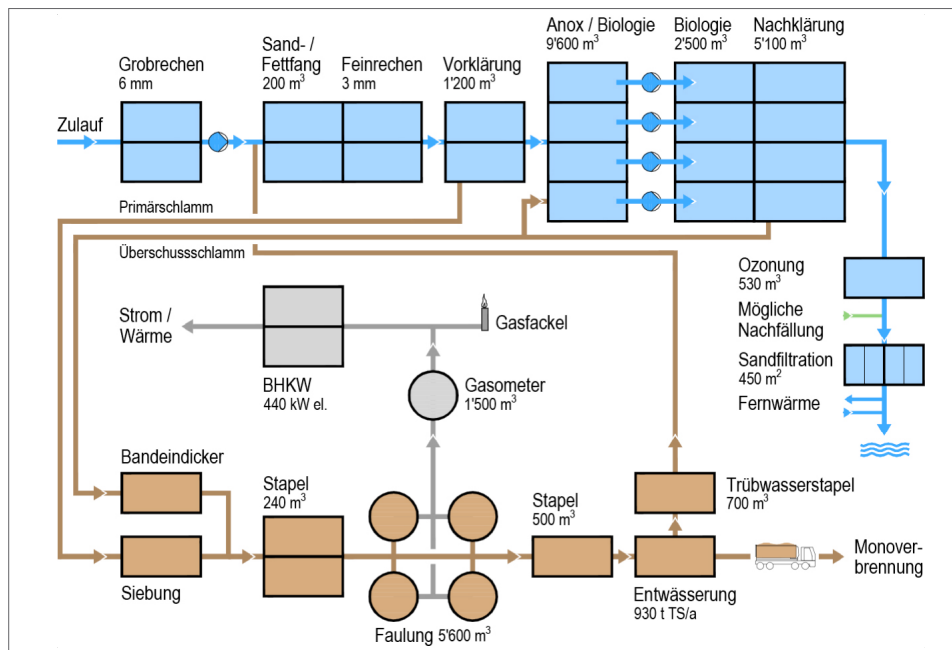


Abbildung 1: Verfahrensschema Abwasserreinigungsanlage Neugut.

Integration der Ozonung in den Reinigungsprozess

Das biologisch gereinigte Wasser gelangt ohne Zusatzpumpwerk, im hydraulisch freien Gefälle, von der Nachklärung zum Ozonreaktor und von dort in die Sandfiltration. Die Ozonanlage ist im bestehenden Gebäude der Filtration installiert.

Die Abwasserreinigungsanlage Neugut reinigt die Abwässer von Dübendorf, Dietlikon, Wangen-Brüttellen sowie Teile von Wallisellen.



ARA**Neugut**, Dübendorf



Reinsauerstofftank mit Verdampfer

Kennzahlen Einzugsgebiet (EZG)

Kanalnetz	177 km
Anzahl Regenbecken (RB)	19
Fläche red. EZG	161 ha
RB-Rückhaltevolumenproha _{red}	53 m³
Fremdwasseranteil	20–25 %

Kapazität der Abwasserreinigungsanlage

Einwohnerwerte (CSB, N, P)	150'000 EW
Q _{max}	660 l/s

Belastung

Belastung Total	105'000 EW
davon Einwohner	50'000 EW
davon Industrie	55'000 EW

Q Tageszufluss 13'000 – 57'000 m³/d

Q _{min}	70 l/s
Q _{mittel} Trockenwetter	200 l/s
Q _{max} behandelt	660 l/s

Bei der Elimination von Mikroverunreinigungen entstehen biologisch abbaubare Transformationsprodukte (TP). Gemäss Empfehlung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) sollen diese TP vor der Einleitung in ein Gewässer in einer Nachbehandlungstufe biologisch eliminiert werden. In der ARANEugut erfüllt dies die biologisch aktive Sandfiltration.

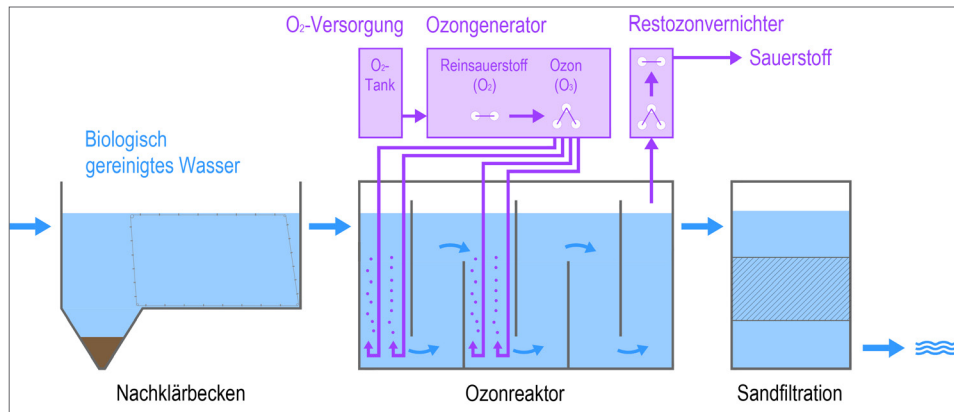


Abbildung 2: Schema der Ozonung.

Betriebserfahrungen und Innovationen

Die Ozonung ist im Betrieb stabil, zuverlässig in der Eliminationsleistung und hat Dank geringem Bedienungsaufwand auch niedrige Betriebskosten. Durchgeführte in vitro und in vivo Biotests weisen die positive Wirkung der Ozonung und der Nachbehandlung (Sandfiltration) nach (Eawag, Juni 2015).

Die Abbildung 3 weist die Eliminationsleistung von Leitsubstanzen über die gesamte Abwasserreinigungsanlage nach, im Mittel 84%. Gesetzlich gefordert ist eine mittlere Eliminationsleistung von 80%. Die konstante Eliminationsleistung wird durch die von Max Schachtler (ARANEugut) entwickelte, wegweisende BEAR-Regelstrategie (Best Elimination, Analysis and MonitoRing) erreicht.

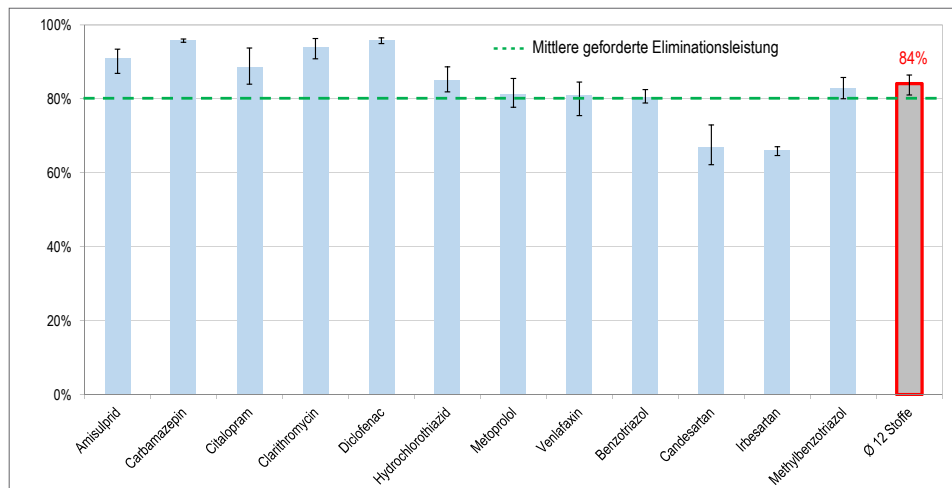
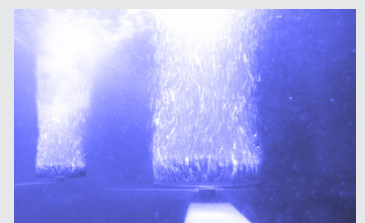


Abbildung 3: Eliminationsleistung mit 2.2 gO₃/m³ oder 0.42 gO₃/g DOC über die Gesamtanlage mit der BEAR-Regelstrategie und dem LOD-Betriebskonzept; 5 Messtage, 24 Std.-Sammelproben.

Erstmals überwacht und regelt eine Strategie die Elimination der Leitsubstanzen stabil auf einen vorgegebenen Wert; im volltechnischen, kontinuierlichen und automatisierten Prozess. Die Zuverlässigkeit der BEAR-Regelstrategie ist durch die umfangreiche Messanalytik der Leitsubstanzen nachgewiesen.

Die Anwendung des neu eingeführten LOD-Betriebskonzeptes (Low-Ozon-Dosage) verringert die notwendige Ozonkonzentration um 15-20%, bei gleicher Eliminationsleistung. Zudem ermöglicht das LOD-Betriebskonzept weitere Entwicklungsschritte. (BEAR-Regelstrategie/LOD-Betriebskonzept: siehe Artikel Aqua & Gas Mai 2016 und Herbst 2016)

Zufluss Ozonung Mittelwerte	
CSB	16.0 mg/l
DOC	5.3 mg/l
NH ₄ -N	0.08 mg/l
NO ₂ -N	0.03 mg/l
pH	7.4
Q-Vollstrom	70–660 l/s
Dimensionierung Ozonung	
Reinsauerstofftank	30 m ³
Generatoren	2 x 5.5 kgO ₃ /h
Ozonreaktor	
Inhalt	530 m ³
Wassertiefe	6.0 m
Begasungskammern	2 Stück
Keramikk diffusoren	je 20 + 33 Stück
Aufenthaltszeitmin	13 Min.
Aufenthaltszeit mittel	37 Min.



Ozoneintrag in Reaktor mit Keramikdiffusoren

Kosten der Ozonung	
Brutto-Investition CHF	3.27 Mio.
Amortisation, Unterhalt	
60a Bau, 15a Ausrüstung, 10a EMSR; 2% Zins; 3% Unterhalt	0.025 CHF/m ³
Betriebskosten	0.014 CHF/m ³
Kosten EinwohnerInnen total	6 CHF/a

Betriebskosten Ozonung 110'000 CHF/a	
Reinsauerstoff	40 %
Strom	20 %
Analytik Leitsubstanzen	20 %
Personal und Overhead	20 %

Energiebedarf	
Reinsauerstoff	28 g/m ³
Strom Ozonung	0.024 kWh/m ³
Gesamte Kläranlage Wassermenge 8 Mio. m ³ /a	0.42 kWh/m ³

Eliminationsleistung	
Leitsubstanzen über gesamte ARA	80–86 %
DOC-Reduktion Ozonung bis Sandfiltration	18–24 %
Ozondosierung pro g DOC	0.33–0.5 gO ₃
Ozondosierung pro m ³	1.6–2.7 gO ₃

Ozonung Planung / Realisierung	
HOLINGER AG, Liestal	
Ingenieurbüro Gujer AG, Rümlang	

Impressum	
Max Schachtler	
Nathalie Hubaux	

ARANEugut, Otto-Jaag-Strasse 15	
CH - 8600 Dübendorf	
+41 (0) 44 818 80 20, www.neugut.ch	

Mai 2016

Ozonung Kläranlage Morgental und Hofen

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit August 2021

Anlagenbeschrieb

Die Kläranlagen Morgental und Hofen haben zusammen auf dem Areal der Kläranlage Morgental eine gemeinsame Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen erstellt. Das gereinigte Abwasser der Kläranlage Hofen wird vor die neue Reinigungsstufe geleitet. Nach der Nachklärung der ARA Morgental wurde eine 2-strassige Ozonungsanlage und eine Sandfiltration erstellt. Das Ozon wird in 2 Ozongeneratoren (1 pro Strasse, mit einer max. Kapazität von 30.3 kgO₃/h) hergestellt, über eine Kollektorleitung zu den zwei Ozonreaktoren geleitet und über Keramikbelüfter in zwei Kammern der Reaktoren (total 907 m³) eingeblasen. Der Sauerstoff wird flüssig angeliefert und im Tank gelagert. Nach der Ozonung durchfliesst das behandelte Abwasser die Filtrationsstufe.

Situation Kläranlage Morgental+Hofen:

Belastung	Einwohnerwerte (EW)
-----------	---------------------

Einwohner	88'000 EW
-----------	-----------

Industrie/Gewerbe	72'000
-------------------	--------

Total	160'000
-------	---------

Zulauf	
--------	--

Trockenwetter (Spitze)	460 l/s
------------------------	---------

Max. Zulauf bei Regenwetter	3'960 l/s
-----------------------------	-----------

Verfahrenstechnik	
-------------------	--

Mechanische Stufe	Umlaufrechen, Belüfteter Fett- und Sandfang, Vorklärbecken
-------------------	--

Biologische Stufe	6 à 2 Halbstrassen (Belebtschlamm)
-------------------	------------------------------------

Chemische Stufe	Vor- (Sandfang), Simultanfällung (Biologie) mit Eisensalzen
-----------------	---

Elimination von Mikroverunreinigungen	Ozonierung und 1-Schicht-Sandfilter als biologische Nachbehandlung
---------------------------------------	--

Filter	1-Schicht-Sandfilter (1.2 m Blähschiefer)
--------	---



Ausgangslage

Das Klärwerk Morgental reinigt das Abwasser von acht Gemeinden der Kantone Thurgau und St. Gallen: Arbon, Teile von Egnach, Horn, Roggwil, Berg, Mörschwil, Steinach und Tübach. Zusätzlich kommt zur Elimination der Mikroverunreinigungen das in der ARA Hofen biologisch gereinigte Abwasser von den Gemeinden St. Gallen Ost (SG), Wittenbach (SG) und Teile von Speicher (AG).

Kontakt:

Betreiber:

Entsorgung St. Gallen (ESG)

Marco Sonderegger

+41 71 224 55 96

Abwasserverband Morgental (AVM)

Roland Boller

+41 71 447 12 80

Bleichestrasse 45

CH-9323 Steinach

Projektingenieur:

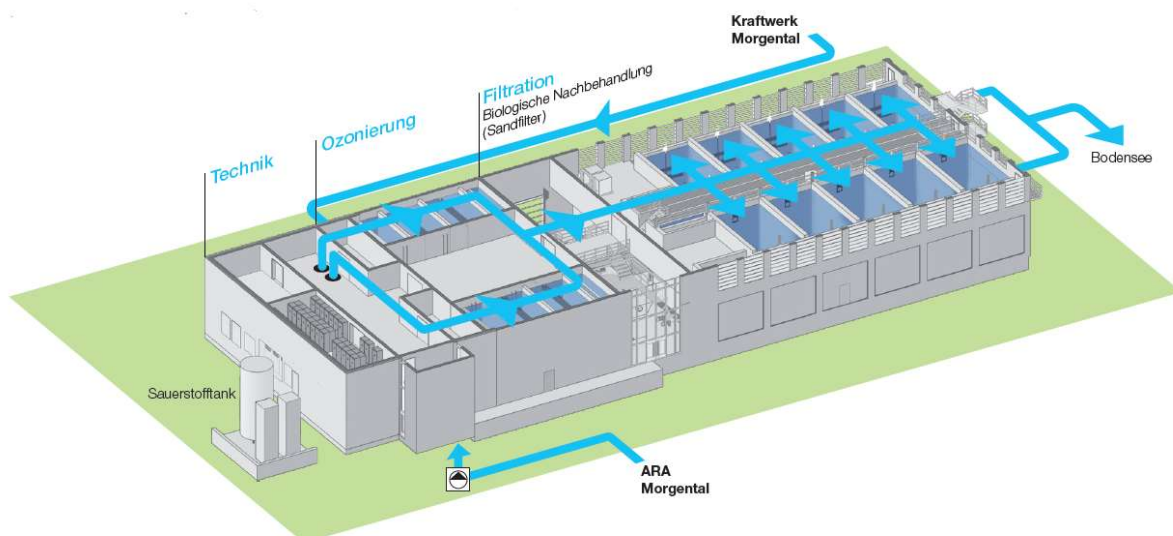
Hunziker Betatech AG

Mit der Projektierung wurde 2015 begonnen. Schon seit 2014 fliesst das gereinigte Abwasser von der ARA Hofen durch eine Druckleitung zum Kleinwasserkraftwerk Morgental in Steinach und von dort zusammen mit dem gereinigten Abwasser der ARA Morgental über eine Tiefeneinleitung in den Bodensee. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die Abwässer der ARA Hofen und der ARA Morgental in der gleichen Anlage von Mikroverunreinigungen zu befreien. Das Prinzip der kombinierten Elimination der Mikroverunreinigungen ist bisher schweizweit einzigartig und bietet eine kostengünstige und betrieblich effizientere Lösung. Die Bauarbeiten konnten im November 2018 planmässig beginnen und im August 2021 abgeschlossen werden. Bis Ende 2021 erfolgen Inbetriebnahme und Optimierungen. Dank dem Einsatz aller Akteure ist ab dem 1. Januar 2022 der Regelbetrieb der EMV möglich.

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

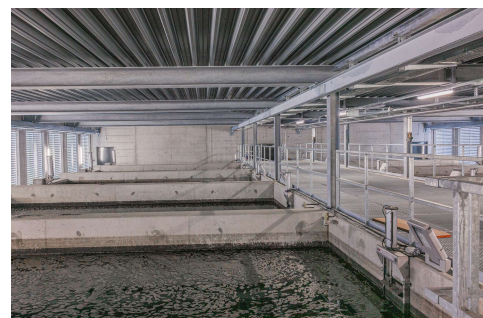
	Einheit	Wert
Max. Abwassermenge durch MV-Stufe (inkl. Rückläufe)	l/s	900
Max. Ozondosierung bei $Q_{TW,max}$ (533 l/s)	mgO ₃ /l	15.9
Max. Ozonproduktion	kgO ₃ /h	30.3
Volumen Kontaktreaktor	m ³	907
Wassertiefe	m	7
Anzahl Begasungskammer	-	2 x 2
Aufenthaltszeit im Reaktor bei Q_{max} (2 Reaktoren)	min	28.5
Aufenthaltszeit im Reaktor bei $Q_{TW,max}$	min	16.8
Anzahl Filterzellen	-	10
Fläche pro Filterzelle	m ²	43.5

Kurzbeschreibung / 3D-Darstellung der MV Stufe



Realisierung und Kosten

Der Spatenstich war im November 2019, im Januar 2022 wird die Anlage in den Regelbetrieb gehen. Die Gesamtkosten liegen bei rund 23.2 Mio. Fr. und wurden im Anteil von 75% vom Bund übernommen.



Pulveraktivkohledosierung (PAK) ARA Thunersee

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit Juni 2018

Situation ARA Thunersee:

Belastung	Einwohnerwerte (EW)
Einwohner	124'000
Industrie	26'000
Total	150'000
Zulauf	
Trockenwetter	500 l/s
Max. Zulauf bei Regenwetter	1'350 l/s



Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Grob- und Feinrechen, Sandfang, Vorklärung
Biologische Stufe	Biologie (Nitrifikation, Denitrifikation, Bio-P), Nachklärbecken
Chemische Stufe	Phosphatfällung (Zugabe Eisenchlorid in Rücklaufschlamm)
Elimination von Mikroverunreinigungen	PAK-Kontaktbecken, Sedimentation (mit Kettenräumer) (zusätzliche Installationen: 2 PAK-Silos, 2 PAK-Dosierstationen)
Filter	Nachgeschaltete 2-Schicht-Filtration Sand, Anthrazit

Anlagenbeschrieb

Auf der ARA Thunersee wurde der Biologie eine Pulveraktivkohledosierung mit 2 Kontaktbecken (je 1'100 m³), 4 Sedimentationsbecken (je 1'944 m³) und 8 Filterzellen (je 42.2 m²) nachgeschaltet (Schema siehe Abbildung 1). Der PAK-Überschussschlamm wird in den Rücklaufschlamm der Biologie geleitet. Die PAK wird in 2 Silos (80 m³) gelagert und nach der Anmischung mit Betriebswasser in die Kontaktbecken geleitet. Es handelt sich um eine Teilstromanlage, welche 800 l/s (= 1.5 Q_{TW,max}) der gesamthaft 1'350 l/s behandelt.

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Anlage	l/s	800
min. Kontaktzeit PAK-Reaktor	min	46
min. Aufenthaltszeit PAK-Sedimentation	h	2.7
max. Oberflächenbeschickung PAK-Sedimentation	m/h	1.8
Max. Filtergeschwindigkeit	m/h	9.8
Rückführung PAK-Überschussschlamm		in die Biologie
Max. Zulauf Filter	l/s	800

Kontakt:

Betreiber:

Gemeindeverband
www.arathunersee.ch
 Hanspeter Reist,
 Projektleiter
 033 346 03 83

Bruno Bangerter
 Geschäftsführer
 033 346 03 81

Projektingenieur:

Beat Bühlmann, Ryser
 Ingenieure AG, Bern
 031 560 03 03

Bauherrenberatung:

David Salzgeber,
 Holinger AG Bern
 031 370 30 11

Schema

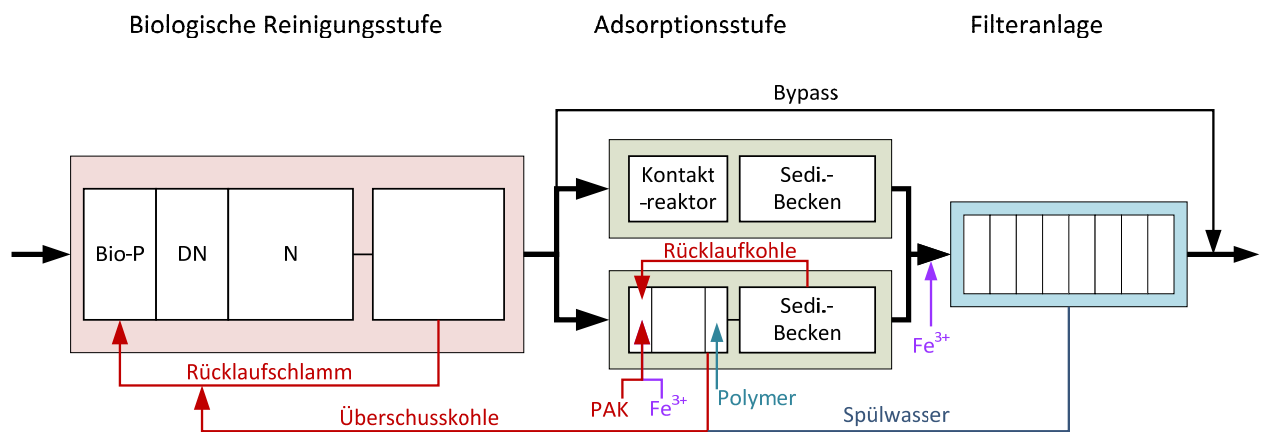


Abbildung 1: Fließschema PAK-Dosierung mit PAK-Rezirkulation und Rückführung PAK-Überschussschlamm in den Rücklaufschlamm der Biologie.

Ausgangslage

Die ARA Thunersee verfügte über ausreichend Baulandreserve und ist mit über 120'000 Einwohnern ausbaupflichtig. Die Aare als Vorfluter infiltriert in zahlreiche Grundwasserfassungen. In der kantonalen Planung zur Realisierung der erforderlichen Anlagen zur Elimination von Spurenstoffen steht die ARA Thunersee deshalb in erster Priorität mit einer Realisierungsfrist bis 2025. Da ab 2022 grössere Sanierungsvorhaben auf dem Programm standen, war ein rascher Ausbau angezeigt.

Realisierung und Kosten

Der Ausbau nach dem Ulmer Verfahren erfolgte 2016 bis 2018. Seit Juni 2018 steht die Anlage in Betrieb (siehe Abbildung 2). Die Investitionskosten betrugen 18.9 Mio. Franken und die geschätzten Betriebskosten liegen bei 700'000 Franken.



Abbildung 2: Luftansicht des neuen Anlageteils

PAK-Behandlung auf der ARA Schöna, Cham

Situation ARA Schöna:

Ausbaugrösse

Einwohner (2017)	150'000
EW _{CSB}	245'000

Zulauf

TW (Mittel)	500 l/s
Max. bei RW	1'600 l/s



Verfahrenstechnik

Mechanische Stufe	Rechen, Sandfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	Anaerob-, Denitrifikations- und Belebungsbecken (biol. Phosphor- und Stickstoffelimination), Nachklärung, Flockungsfiltration
Chemische Stufe	Phosphatfällung (Biologie / vor Filter)
Filtration	Sandfilter (2-Schicht, Sand / Anthrazit)

Ziel und Hintergrund

Mit dem seit Anfang 2016 in Kraft getretenen neuen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) und der neuen Gewässerschutzverordnung (GSchV) muss die ARA Schöna gemäss folgender Kriterien Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen treffen:

1. Aufgrund der Anzahl angeschlossener Einwohner (> 80'000) muss ein Ausbau erfolgen.
2. Die ARA Schöna besitzt einen Vorfluter, dessen Abwasseranteil bei Tiefstand (Q_{347} , Lorze) bei 15% liegt. Das Kriterium zum maximalen Abwasseranteil im Vorfluter von 10% wird überschritten.

Die ARA Schöna ist für Mikroverunreinigungen in der Region Zug ein Haupteintragsweg und hat dadurch einen wesentlichen Einfluss auf die chemischen Qualitätskriterien und den Zustand der Lorze. Flussabwärts der Einleitstelle werden zudem zwei Trinkwasserpumpwerke genutzt, dessen Wasser sich zum Teil aus Uferfiltrat der Lorze speist. In den Fassungen dieser Pumpwerke lässt sich der Abwassereinfluss aus der ARA Schöna nachweisen.

Projektbeteiligte:

Betreiber

Gewässerschutzverband der
Region Zugersee-
Küssnattersee-Ägerisee
(GVRZ) www.gvrz.ch
Dr. Bernd Kobler
Geschäftsführer

Projektingenieur:

Pöyry Schweiz AG
www.poyry.ch
Dr. Knut Leikam
Tel. 044 355 55 55

Verfahren und Technologien

In einer ergebnisoffenen Variantenstudie unter Berücksichtigung von vorgängigen Versuchen hat sich das Verfahren mit der Dosierung vor den Filter und der zusätzlichen Möglichkeit der Direkt dosierung als das wirtschaftlichste, effektivste und flexibelste Verfahren erwiesen.

Die Pulveraktivkohle (PAK) wird nach der Nachklärung über 2-strassig ausgeführte Misch- und Kontaktbecken (je Strasse ca. 700 m³) direkt vor die bestehende Raumfiltration gegeben. In der ersten Zone der Becken wird dem Abwasser PAK und im folgenden Kompartiment Fällmittel zugemischt. Die nachfolgenden Kompartimente dienen als Kontakt- und Reifezone. Zum einen erfolgt eine erste Adsorption von organischen Spurenstoffen an die Aktivkohle, zum anderen sollen unter schonender Durchmischung geeignete Flockenkonglomerate für die nachfolgende Einlagerung im Zweischichtfilter gebildet werden. Das PAK-Abwassergemisch lagert sich

dort zur Abtrennung im Filterbett ein. Für den Ausbau der ARA Schönau mit dem gewählten Verfahren stellt die bestehende Raumfiltration eine zentrale Anlagenstufe für das Erreichen der angestrebten Reinigungsleistung dar. Die Filtration gewährleistet zum einen den Rückhalt der PAK und zum anderen ermöglicht sie dessen Einlagerung, um deren Adsorptionsleistung auszuschöpfen. In vorgängigen Pilot-Versuchen wurde die Eignung sowie das Verhalten des Filtermaterials (Sand / Anthrazit) ausgiebig getestet. Für den Betrieb mit PAK wurde die Filtration steuerungstechnisch auf den neuesten Stand gebracht, sowie Trübungsmessungen in den Abläufen der Filterzellen installiert.

Die verbrauchte PAK gelangt über das Filtrerrückspülwasser in die Belebungsbecken und wird dort über den Überschussschlamm und letztlich im Klärschlamm ausgetragen. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit PAK direkt in die Belebungsbecken zu dosieren (Direktdosierung). Die Lagerung erfolgt in zwei Silos (je 120 m³), welche vier unabhängige Wäge- und Dosiereinheiten speisen.

Das Verfahren weist in diesem Fall gegenüber anderen Behandlungsmethoden folgende Vorteile auf:

- Keine gefährliche bzw. schädlichen Nebenprodukte durch Reaktion mit anderen Wasserinhaltsstoffen
- Verfahrenstechnische Redundanz durch Möglichkeit der Direktdosierung
- Pufferwirkung gegen Belastungsschüsse durch die Einlagerung der PAK im Filter
- Flexibilität bei der Dosiermenge und der Wahl der PAK
- Hohe Effizienz durch doppelte Nutzung der PAK im Filter und in der Biologie (Gegenstrom)

Dimensionierungsgrundlagen

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Anlage	l/s	1600
min. Kontaktzeit in Misch- / Kontaktbecken	min	15
Max. Filtergeschwindigkeit	m/h	16
min. Verweilzeit Abwasser in Filter (mit mittlerem Überstau)	min	10
Rückführung PAK-Überschussschlamm	Belebungsbecken mit Filterschlammwasser	
max. Zulauf Filter	l/s	1600

Verfahrensschema

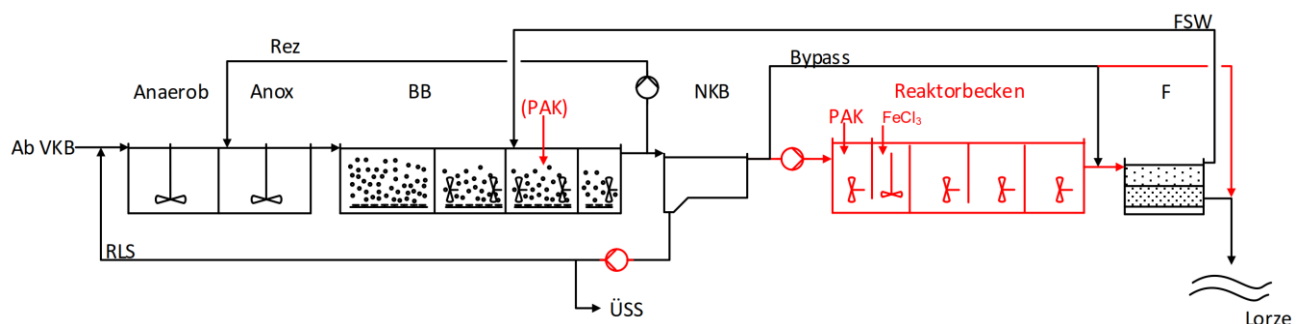


Abbildung 1: Verfahrensschema ab VKB mit Erweiterung der ARA Schönau um EMV-Stufe

Durch das eingeschränkte Platzangebot wird die bestehende Infrastruktur ideal weitergenutzt und der Bestand sinnvoll erweitert. So konnten die Misch- und Kontaktbecken in ein bestehendes Anaerobbecken integriert werden. Auch das Zwischenpumpwerk wird in ein schon bestehendes Pumpwerk eingebracht. Zusätzlich wurde Platz für eine neues, verbessertes Rücklaufschlamm-Pumpwerk geschaffen. Insgesamt wird dadurch eine sehr effiziente Platzausnutzung und eine Verbesserung der Betriebsabläufe erreicht, ohne das ARA Areal zu erweitern. Die Bauausführung verlief planmässig und gemäss Budget (15.5 Mio. CHF). Die Inbetriebsetzung der EMV Stufe wurde im Dez. 2018/ Jan. 2019 erfolgreich durchgeführt. Im Verlauf von 2019 werden unterschiedliche Betriebsprogramme getestet und die Anlage im Betrieb optimiert.

Ozonung Klärwerk Werdhölzli, Zürich

grosstechnische Umsetzung, in Betrieb seit August 2018

Situation Klärwerk Werdhölzli:

Belastung	Einwohnerwerte (EW)
Einwohner	450'000
Industrie/Ge- werbe	ca. 200'000
Total	650'000

Zulauf	
Trockenwetter (Spitze)	2'500 l/s
Max. Zulauf bei Regen- wetter	6'000 l/s

Verfahrenstechnik	
Mechanische Stufe	Grobrechen, Belüfteter Öl- und Sandfang, Vorklärbecken
Biologische Stufe	6 A/I-Strassen (Belebtschlamm)
Chemische Stufe	Simultanfällung in Biologie mit Eisensalzen
Elimination von Mikroverunreini- gungen	Ozon, mit eigener Reinsauerstoffproduktion
Filter	1-Schicht-Sandfilter (1.2 m Blähschiefer)



Anlagenbeschreibung

Zwischen den bestehenden Biologiebecken und der Sandfiltration wurde eine 4-strassige Ozonungsanlage erstellt. Aufgrund der hydraulischen Verhältnisse war ein neues Hebewerk nötig. Das Ozon wird in 8 Ozongeneratoren (2 pro Strasse, mit einer max. Kapazität von je 19 kgO₃/h) hergestellt und mit Röhrendiffusoren in zwei Kammern der Reaktoren (4 x 1535 m³) eingetragen. Der Sauerstoff wird in einer VPSA-Anlage aus der Umgebungsluft erzeugt (180–540 kgO₂/h). Die Reinheit des erzeugten Sauerstoffs beträgt rund 93%. Zusätzlich wurde ein Reinsauerstofftank (60 m³) erstellt, um Belastungsspitzen sowie Revisionen der VPSA-Anlage abzufangen. Nach der Ozonung gelangt das Abwasser über eine Dükerleitung in die Filtration.

Kontakt:

Betreiber:

ERZ Entsorgung und
Recycling Zürich
Klärwerk Werdhölzli
Bändlistrasse 108
8064 Zürich
044 645 55 55

Projektingenieur:

INGE Holinger AG /
Hunziker-Betatech

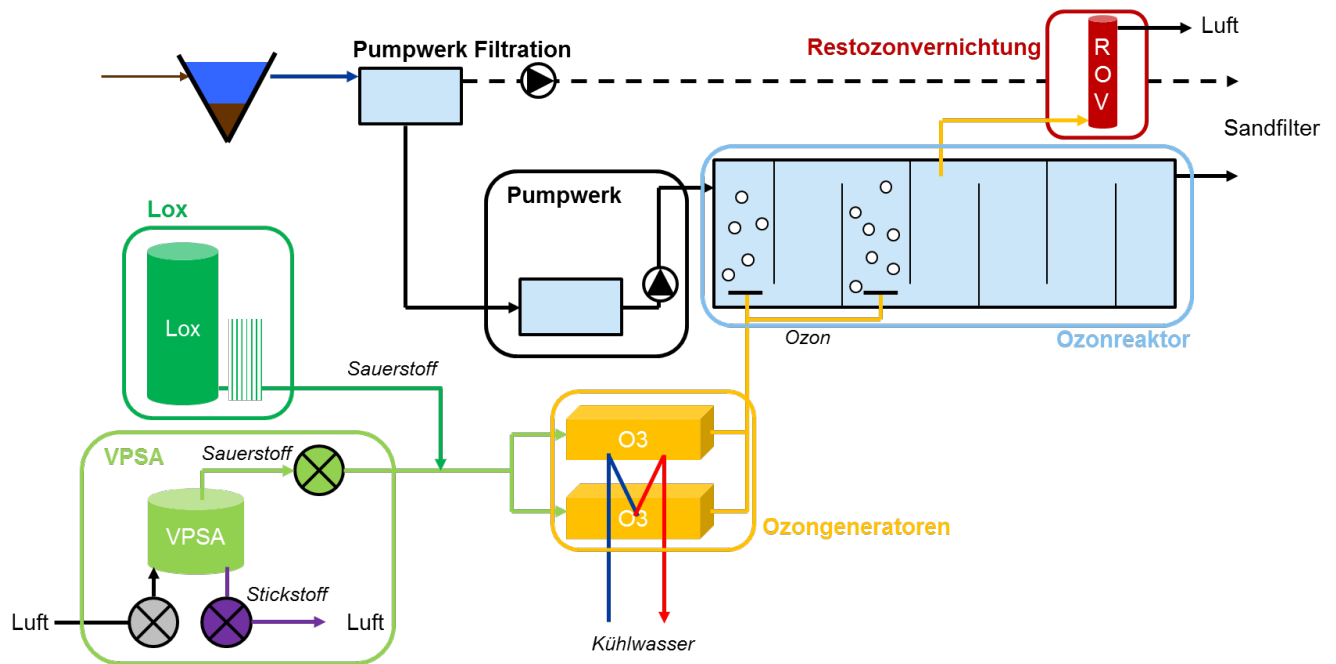
Projektbegleitung:

Gujer AG

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

	Einheit	Wert
Max. Abwassermenge durch MV-Stufe (inkl. Rückläufe)	l/s	8'600
Max. Ozondosierung bei Q _{TW,max} (2'500 l/s)	mgO ₃ /l	6
Max. Ozonproduktion	kgO ₃ /h	8 x 19
Volumen Kontaktreaktor	m ³	4 x 1'535
Wassertiefe	m	7.8
Anzahl Begasungskammer	-	2
Aufenthaltszeit im Reaktor bei Q _{max} (4 Reaktoren)	min	16.7
Aufenthaltszeit im Reaktor bei Q _{TW,max}	min	40
Anzahl Filterzellen	-	18
Fläche pro Filterzelle	m ²	85

Kurzbeschreibung / Fließschema



Ausgangslage

Das Klärwerk Werdhölzli reinigt das Abwasser der Stadt Zürich sowie der Gemeinden Kilchberg, Zollikon, Zumikon sowie von Teilen von Opfikon, Rümlang und Wallisellen. Mit einer Ausbaugröße von 670'000 EW und rund 450'000 angeschlossenen Einwohnern ist es zurzeit die grösste Kläranlage der Schweiz. Die biologische Stufe wurde von 2010 bis 2013 erneuert.

Die Projektierung wurde 2014 in Angriff genommen. Unter anderem aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse und dem bereits vorhandenen Sandfilter fiel die Wahl auf eine Ozonung. Dies bedingt, dass das bromidhaltige Abwasser der Kehrichtverbrennungsanlage nun separat abgeleitet und nach der Ozonung zugegeben wird. Dadurch wird eine übermässige Bromatbildung verhindert. Im Dezember 2015 war der Spatenstich, im Sommer 2018 wurde die Anlage dem Betrieb übergeben.

Realisierung und Kosten

Um die Anlage überhaupt bauen zu können, musste das Areal erweitert und ein Fussweg sowie eine Hochdruck-Erdgasleitung verlegt werden. Da der bestehende und sanierungsbedürftige Ablaufkanal im Baufeld lag, wurde gleichzeitig ein neuer Ablaufkanal errichtet. Der Spatenstich war im Dezember 2015, im Frühling/Sommer 2018 wurde die Anlage in Betrieb genommen. Die Gesamtkosten lagen bei rund 38.6 Mio. Fr.

Betriebserfahrungen und Erkenntnisse

- Nach anfänglichen Kinderkrankheiten (Zusammenspiel der O₂-Quellen, Druckverhältnisse in den Reaktoren, Kühlung) läuft die Anlage einwandfrei. Die Sauerstoffproduktion und das Zusammenspiel mit dem Flüssigsauerstoff funktionieren zuverlässig.
- Die Ozondosierung wird mit UV-Sonden geregelt, die gleichzeitig zur Überwachung der Reinigungsleistung genutzt werden.
- Bei längeren Regenereignissen ist die korrekte Ozondosierung anspruchsvoll.
- Die geforderte Spurenstoffelimination wird bei einer Dosierung von ca. 0.5 mgO₃/mgDOC erreicht. Die Optimierungen sind noch nicht abgeschlossen.
- Instabilitäten im Stromnetz führen zu kurzen Ausfällen der Ozongeneratoren
- Der Stromverbrauch verteilt sich zu je etwa einem Drittel auf Sauerstofferzeugung, Ozonproduktion und weitere Aggregate (Pumpwerk, HLK, Restozonvernichtung etc.)

CAG en lit fluidisé à la STEP de Penthaz

Réalisation à l'échelle industrielle, en service depuis octobre 2018

Situation STEP de Penthaz

Charge	Equivalent Habitant (EH)
Habitants	12'000
Industrie	2'000
Total	14'000
Entrée	
Temps sec	30 l/s
Débit max en temps de pluie	150 l/s

Procédés de traitement

Traitement primaire	Dégrillage grossier et fin, dessablage/déshuilage, décantation primaire
Traitement biologique	Boues activées (Anoxie, Anaérobie, Aérobie)
Traitement chimique	Déphosphatation chimique et biologique
Filtration	Filtres à disques 10µm



Situation initiale

La STEP de Penthaz, avec ses 12'000 habitants raccordés et son rejet d'eau épurée représentant plus de 10% du débit de la Venoge, a été la première STEP du canton de Vaud à s'équiper d'un traitement des micropolluants. Après une rénovation et extension de la STEP en 2015, une étape de traitement des micropolluants par CAG en lit fluidisé est donc venue compléter l'installation en 2018.

Ce procédé de traitement a d'abord été testé lors d'un essai pilote entre février 2016 et août 2017 qui a permis de montrer que le procédé permet d'éliminer les micropolluants des eaux usées selon les bases légales suisses et se révèle pertinent pour une STEP comme celle de Penthaz.

Technologie et bases pour le dimensionnement

Paramètre	Unité	Valeur
Débit max. traitement des MP	l/s	90
Vitesse ascensionnelle	m/h	7 à 15 (max. 20)
Volume du silo	m ³	25
Hauteur du lit au repos	m	1.5
Hauteur du lit en expansion (15 m/h)	m	2.2
Granulométrie du CAG	mm	0.2 à 0.9 (moyenne 0.5)
Charbon actif dosé (moyenne)	kg/j	45
Age moyen du CAG	j	env. 350

Description de l'installation

L'étape de traitement des micropolluants a été réalisée en deux lignes de traitement. Elle est alimentée en débit partiel (max. 90 l/s) avec les eaux usées provenant de la filtration sur disques (complément à la décantation secondaire). Les eaux sont pompées depuis une fosse puis alimentent les deux réacteurs en flux ascendant.

Contact

Exploitant :

Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées (AIEE)

Jean-Pascal Golay
021 862 72 77

www.stepdepenthaz.ch

Planificateur général

Raphaël Casazza
Triform SA, Fribourg
026 347 22 85

www.triform.ch

Fournisseur

Saur/Stereau, Yverdon

Le charbon est retenu par gravité dans l'ouvrage et l'eau épurée est collectée par surverse et rejetée dans la Venoge. Le charbon actif en grain est stocké dans un silo (en zone EX), depuis lequel il est transporté par une vis jusqu'à l'installation de préparation et de dosage. Cette installation permet de mouiller et définir le CAG afin d'éviter que des particules fines ou des flottants (<1% du charbon dosé) ne se retrouvent dans l'effluent. Afin de permettre la fluidisation du lit à des vitesses comprises entre 7 et 20 m/h, la granulométrie du charbon doit se situer entre 0.2 et 0.9 mm (moyenne 0.5 mm). Le charbon actif frais est injecté quotidiennement à un dosage et un intervalle définis en supervision. Le charbon actif usagé est extrait environ une fois par semaine du réacteur. Le mélange eau-charbon est acheminé jusqu'à une benne drainante, où il est stocké avant d'être régénéré en usine.

Schéma

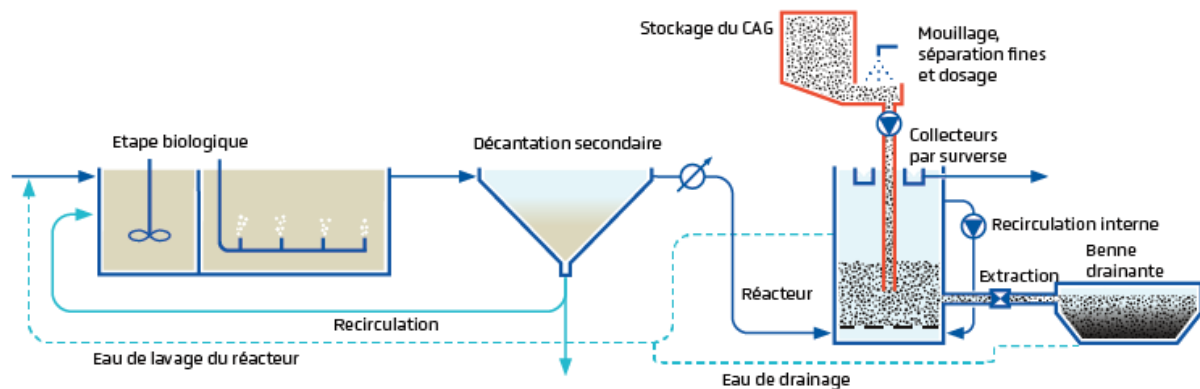


Fig. 1. Schéma de principe des différents éléments du traitement des micropolluants par CAG en lit fluidisé. Dans le cas de la STEP de Penthaz, une filtration sur disques suit la décantation secondaire.

Réalisation et coûts

Les travaux de construction ont duré environ une année et la mise en service a eu lieu en automne 2018 avec une montée en charge progressive jusqu'à la stabilisation de la hauteur du lit de charbon au printemps 2019. Le coût global des travaux s'est élevé à environ 4 millions de CHF TTC.

Expériences d'exploitation

- Le taux d'épuration moyen sur l'ensemble de la STEP est de plus de 80% pour des dosages entre 13 et 15 g/m³.
- Depuis la mise en service, des optimisations ont été effectuées notamment l'ajustement des temps de préparation du charbon afin de pouvoir augmenter la cadence des injections lors des périodes à fort débit.
- Lors de la planification, il avait été prévu que la livraison de CAG frais et la reprise de CAG usagé soient effectuées par un seul camion afin de limiter les transports depuis et vers la Belgique où se trouve l'usine du fournisseur. Ces transferts ont effectivement pu se dérouler de la sorte et ont donné entière satisfaction.
- Un contrôle hebdomadaire de la hauteur du lit de CAG au repos et un contrôle de la hauteur d'expansion à différentes vitesses ascensionnelles est nécessaire. Le calcul du rapport entre les deux hauteurs de lit (ratio d'expansion) permet de suivre la stabilité du lit et l'évolution de la concentration en MES dans le lit de CAG.
- Un lavage à l'eau systématique est déclenché une fois par mois, afin d'éliminer régulièrement les MES du lit de charbon actif. Un lavage à l'air systématique quatre fois par année a été mis en place à titre préventif.
- Les pertes en charbon se situent entre 0 et 3% (en moyenne < 0.5%), ce qui est acceptable selon l'état de la technique actuelle.
- Aucun colmatage des conduites, aucune usure ou abrasion des conduites ou réacteurs n'a été constatée jusque-là.