



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und  
Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Cleantech

**Schlussbericht** vom 13.12.2018, Rev. 15.03.2019

---

# Solarfaltdach HORIZON ARA Chur

## Solarstromproduktion über Kläranlage

---



© dhp technology AG 2018



Projektstandort:  
46°52'14.533"N  
9°31'44.211"E  
ARA Chur, CH-7000 Chur



**Antragssteller / Bauherrschaft:**



**Projektpartner:**



**Datum:** 13.12.2018, Rev. 15.03.2019

**Ort:** Landquart / Bern

**Subventionsgeberin:**

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das  
Bundesamt für Energie BFE  
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger:**

IBC Energie Wasser Chur (Bauherrschaft)  
Felsenaustrasse 29, CH-7000 Chur  
[www.ib-chur.ch](http://www.ib-chur.ch)

dhp technology AG (Systemlieferant, GU)  
Weststrasse 7, CH-7205 Zizers  
[www.dhp-technology.ch](http://www.dhp-technology.ch)

reech gmbh (Projektleitung P+D Projekt)  
Weststrasse 7, CH-7205 Zizers  
[www.reech.ch](http://www.reech.ch)

**Autoren:**

Andreas Hügli, reech gmbh / dhp technology AG, [andreas.huegli@reech.ch](mailto:andreas.huegli@reech.ch)  
Gian Andri Diem, dhp technology AG, [gian.diem@dhp-technology.ch](mailto:gian.diem@dhp-technology.ch)  
Clement Plebani, IBC Energie Wasser Chur, [clement.plebani@ibc-chur.ch](mailto:clement.plebani@ibc-chur.ch)

**BFE-Programmleitung:** Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)  
**BFE-Projektbegleitung:** Stefan Nowak, [stefan.nowak@netenergy.ch](mailto:stefan.nowak@netenergy.ch)  
**BFE-Vertragsnummer:** SI/501112-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

## Zusammenfassung/Abstrakt

Mit der weltweit erstmaligen Realisierung eines Solarfaltdaches über Klärinfrastruktur wird eine konsequente Doppelnutzung von bereits versiegelten Bodenressourcen für die Solarstromproduktion möglich. Das ist interessant, weil Klärinfrastrukturen zu den grössten Stromverbrauchern unter den städtischen Infrastrukturen gehören und sich damit Eigenverbrauchsprojekte im industriellen Massstab mit nahezu 100% Eigenverbrauch realisieren lassen. Im September 2017 wurde die Pilotanlage des Solarfaltdach HORIZON dem Betrieb übergeben und produziert seit diesem Zeitpunkt Solarstrom im vollautomatischen Betrieb. Die Auswertung der Betriebsdaten aus dem ersten Betriebsjahr bestätigen und übertreffen die Erwartungen und bilden eine wertvolle Basis für die Entwicklung effizienter Monitoring- und Wartungsprozesse und die Weiterentwicklung von Steuerungsalgorithmen und der Systemtechnik.

Die Bauherrschaft IBC Energie Wasser Chur hat aufgrund der Erfahrungen im Pilotprojekt (P+D) die dhp technology AG (Systemlieferant und GU) mit dem Vollausbau und der Überdachung der gesamten Fläche über den Vorklär-, Belebungs- und Nachklärbecken beauftragt. Nach der Bauzeit im Frühjahr 2018 wurde das Solarfaltdach mit 643kWp Leistung und 4'150m<sup>2</sup> Modulfläche im Juli 2018 in den regulären Betrieb überführt. Die Stromproduktion der Pilotanlage war vom Bau der Erweiterung praktisch ungestört.

Der windreiche Standort auf der Kläranlage Chur ist ein hervorragender Teststandort, da hohes Windaufkommen, Winterbetrieb und hohe Umgebungstemperaturen im Sommer an einem Projektstandort vereint werden und damit eine ideale Grundlage für den eingehenden Test von Systemtechnik und Solarstromproduktion bilden.

Das Solarfaltdach HORIZON wurde zwischenzeitlich mehrfach ausgezeichnet, so zum Beispiel mit dem Schweizer Nachhaltigkeitspreis in der Kategorie «Generation Zukunft» (2016), dem Engie Energieeffizienzaward (2016) und dem zweifachen Innovationspreis Médaille d'eau (2018) des VSA und der InfraWatt für die Projekte Solarfaltdach ARA Chur (realisiert) und dem Energiekonzept ARA Seez in Flums, dass die Verstromung des Klärgases und der Solarstromproduktion vom Solarfaltdach zur Steigerung des Autarkiegrades der ARA Seez aufeinander abstimmt und steuert.

Weiter hat auch die EU das Projekt als skalierungsfähig und als bedeutsam für die Stromversorgung von Klärinfrastruktur eingestuft und hat auf dieser Basis die dhp technology AG für die Teilnahme im SME Instruments Programm im Rahmen von HORIZON 2020 qualifiziert (2018).

Im Januar 2019 konnte die dhp technology AG, die IBC Energie Wasser Chur und die Stadt Chur die Auszeichnung Watt d'Or in der Kategorie Erneuerbare Energien vom Bundesamt für Energie entgegennehmen.

## Summary/Abstract

With the worldwide first realization of a solar folding roof across sewage infrastructure, a consistent double use of already sealed land resources for solar power generation becomes possible. This is interesting because sewage infrastructures are among the largest electricity consumers among urban infrastructures and can thus be realized on an industrial scale with 100% self-consumption. In September 2017, the pilot plant of the HORIZON solar folding roof was handed over to the operation and has been producing solar power in fully automated operation since then. The evaluation of the operational data from the first year of operation confirms and exceeds expectations and forms a valuable basis for the development of efficient monitoring and maintenance processes, the further development of control algorithms and product development.



Based on the experience of the pilot project (P + D), the utility IBC Energie Wasser Chur has commissioned dhp technology AG (System Supplier and Total Contractor) to fully expand and roof the entire sewage basin areas. After construction in spring 2018, the solar folding roof with a capacity of 643kWp and a module area of 4150m<sup>2</sup> was transferred to regular operation in July 2018. The power production of the pilot plant was virtually undisturbed by the construction of the extension.

The wind-rich location on the Chur wastewater treatment plant is an excellent test location, as high wind volumes, winter operation and high ambient temperatures in summer are combined at one project site and is therefore an ideal pilot project site for the in-depth test of system technology and solar power production.

In the meantime, the HORIZON solar folding roof has received several awards, for example, with the Swiss Sustainability Award in the category «Generation Future» (2106), the Engie Energy Efficiency Award (2016) and the double Innovation Prize Medaille d' Eau (2018) of the VSA and InfraWatt for the projects Solar Folding Roof ARA Chur (realized) and the ARA Seez energy concept in Flums, which aligns and controls the electricity generation of sewage gas and solar power production from the solar folding roof to increase the degree of self-sustainment of the ARA Seez.

The EU has also classified the project as scalable and important for the power supply of sewage infrastructure and, on this basis, has qualified dhp technology AG to participate in the SME Instruments program under HORIZON 2020 (2018).

In January 2019, dhp technology AG, the utility IBC Energie Wasser Chur and the Authorities of the City of Chur have been awarded with the Watt d'Or award in the Renewable Energy category from the Swiss Federal Office of Energy





# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung/Abstrakt .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Summary/Abstract .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Einleitung .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Ausgangslage .....</b>  | <b>6</b>  |
| Hintergrund und Stand der Technik .....  | 6         |
| Motivation des Projektes .....   | 6         |
| Ziele der Arbeit .....   | 6         |
| Konzept Solarfaltdach .....  | 7         |
| Systemeigenschaften .....  | 8         |
| Entwicklungsinfrastruktur .....  | 9         |
| Steuerung .....  | 9         |
| Statik .....   | 10        |
| Wartung .....  | 10        |
| Arbeitssicherheit .....  | 11        |
| Korrosionsschutz .....   | 11        |
| <b>Vorgehen und Methode .....</b>  | <b>12</b> |
| Realisierung des Pilotprojekts Solarfaltdach HORIZON ARA Chur .....              | 12        |
| Datenerfassung .....   | 14        |
| <b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>   | <b>15</b> |
| Messung Eigenstromproduktionsanteil ARA Chur .....                               | 15        |
| Demonstration und Qualifizierung Solarstromproduktion über Klärfrastruktur ..... | 15        |
| Kompatibilität mit Klärbetrieb .....   | 18        |
| Verankerung: infrastrukturintegrierte Photovoltaik .....                         | 18        |
| Zugänglichkeit für Wartung an der Klärfrastruktur .....                          | 19        |
| Zugänglichkeit für Wartung an Solarfaltdach .....                                | 20        |
| Korrosionsschutzklassengerechte Bauart und Wahl der Betriebsmittel .....         | 20        |
| Verschmutzung durch Vogelkot .....   | 21        |
| Synergien im Klärbetrieb .....   | 22        |
| Schatten für Arbeiten auf und an den Klärbecken .....                            | 22        |
| Algenwachstum .....  | 23        |
| Tragwerksintegrierte LED-Beleuchtung .....                                       | 25        |
| Vermeidung von Verletzungen bei Enten .....                                      | 26        |
| Öffentlichkeitswirksamkeit .....   | 26        |
| Anschub weiterer Innovationen im Klärbetrieb .....                               | 27        |
| <b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>                                     | <b>27</b> |
| Nächste Schritte nach Projektabschluss .....                                     | 28        |
| <b>Anhänge .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>   | <b>30</b> |



## Einleitung

Der vorliegende Schlussbericht soll eine Übersicht zu den wichtigsten Erkenntnissen aus dem ersten Betriebsjahr des Solarfaltdachs HORIZON auf der Kläranlage Chur hinsichtlich dem Bau und dem Betrieb, sowie Aussichten zur künftigen Markterschliessung und der weiteren Unternehmensentwicklung der dhp technology AG bieten.

## Ausgangslage

### *Hintergrund und Stand der Technik*

Kläranlagen gehören zu den grössten städtischen Verbrauchern und haben rund um die Uhr und 7 Tage die Woche einen enorm hohen Stromverbrauch (an Regentagen erhöht sich aufgrund der angelieferten Abwassermengen der Strombedarf). Die Nachrüstung der vierten Klärstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen wird den Strombedarf der Klärinfrastruktur um rund einen Drittel weiter erhöhen. Die Kläranlagen sind angehalten, Energieeffizienzmassnahmen konsequent umzusetzen und die Eigenstromproduktion zu erhöhen. Dies erfolgt aktuell meist über die Verstromung des Klärgases mittels BHKW. Aufgrund der sehr kleinen zur Verfügung stehenden Dachflächen der Betriebsgebäude, der klärbetriebsbedingten Forderung den Zugang zu den Klärbecken jederzeit gewährleisten zu können (freier Kranzugang zum Ein- und Ausbau von Geräten) und der Unsicherheit bezüglich der über den Klärbecken herrschenden Umgebungsbedingungen war das Potential zur Solarstromproduktion auf Klärinfrastruktur bis anhin sehr limitiert (Stand der Technik). Aus vorgenannten Gründen konnte das enorme Flächenpotenzial der Klärbecken für die Solarstromproduktion nicht aktiviert werden. Es gibt Kläranlagen, die PV-Anlagen auf Betriebsgebäuden, über gedeckten Becken (Sonderfall) und mit Trackern an Beckenrändern realisiert haben (siehe Projektantrag).

### *Motivation des Projektes*

Das neuartige und auf Leichtbau basierte Solarfaltdachkonzept, dass Seilbahntechnik, glasfreie PV-Modultechnologie und im Rahmen eines KTI-Projektes mit der ZHAW entwickelten Meteoalgorithmen kombiniert, soll die Solarstromproduktion über den Klärbecken und anderen Infrastrukturf lächen ermöglichen. Mit einem Demonstrationsprojekt sollen Betriebserfahrungen mit dem Solarfaltdach, das Potential zur Eigenstromproduktion und Synergien mit dem täglichen Klärbetrieb untersucht werden.

### *Ziele der Arbeit*

Die konsequente Doppelnutzung von Klärbeckenflächen zur Solarstromproduktion bietet sich im Rahmen der Energieeffizienzoptimierung und Erhöhung des Eigenstromproduktionsanteils auf ARAs an. Erschwerte Zugänglichkeit und herausfordernde Umweltbedingungen stellen eine hohe Investitionshürde dar.

Ein neues, seilbasiertes Anlagenkonzept «Solarfaltdach HORIZON» der dhp technology AG zur Überspannung von Klärbecken soll im Rahmen dieses Projektes realisiert und dessen Integration in den ARA-Betrieb qualifiziert werden. Das Projekt schafft damit einen wichtigen Grundstein für die mögliche Skalierung in der Schweiz und im Ausland und verfolgt folgende Ziele:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <i>Messung</i>        | möglicher Eigenstromproduktionsanteil ARA mittels Photovoltaik               |
| <i>Demonstration</i>  | Solarstromproduktion über (offenen) Klärbecken                               |
| <i>Qualifizierung</i> | Solarstromproduktion über (offenen) Klärbecken, Reduktion Investitionshürden |
| <i>Kompatibilität</i> | mit täglichem ARA Betrieb  |
| <i>Synergien</i>      | Entstehung von Mehrwert durch Solarkraftwerke im Betrieb der ARA             |

### **Konzept Solarfaltdach**

Die dhp technology AG entwickelt die innovative Solarfaltdachlösung für die konsequente Doppelnutzung von Infrastrukturflächen. Durch die grossen variierbaren Stützenabstände und der lichten Höhe von min. 4.3 m erlaubt das System die Solarstromproduktion über Infrastrukturen, wie Abwasserreinigungsanlagen und Parkflächen, ohne die Primärnutzung und Bewirtschaftung dieser Infrastruktur zu beeinträchtigen. Durch die Höhe über Boden und die Einfahrmöglichkeit des glasfreien Solarfaltdaches ist der ungehinderte Zugang jederzeit gewährleistet.



Abbildung 1 Unter dem Solarfaltdach auf der ARA Chur

Das Solarfaltdach erlaubt die wirtschaftliche Doppelnutzung von Flächen im besiedelten Raum und wertet diese Flächen als Solarkraftwerke auf:

- Das Solarfaltdach ist ästhetisch gestaltet und wertet graue Asphalt- und Betonflächen auf. Die Erscheinung kann durch die Materialwahl von Tragwerk und Fassadenflächen architektonisch optimal in den Bestand integriert werden.
- Das Solarfaltdach schont die Ressourcen Raum und Boden<sup>1</sup> und wirkt als gut sichtbares und ästhetisch attraktives Objekt als Imageträger für Nachhaltigkeit.

---

<sup>1</sup> HORIZON erhielt den Schweizer Nachhaltigkeitspreis Prix Eco 2016 in der Kategorie „Generation Zukunft“, den ENGIE Energieeffizienzaward 2016, bei Infracore sowohl die Auszeichnung Médaille d'eau 2018, wie auch den Innovationspreis 2018 und vom BFE den Watt d'Or 2019.

Vorteile des seilbasierten Systems gegenüber fixen Solaranlagen, wie z.B. Carports:

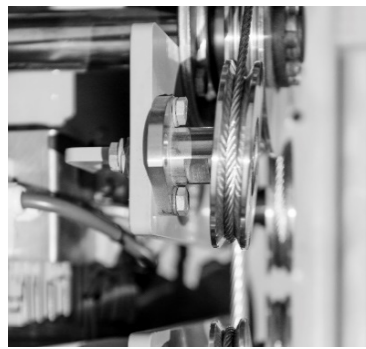
- Sehr grosse und variierbare Stützenabstände sind realisierbar, so dass selbst LKW das System unterfahren können
- Nutzung der gesamten Arealfläche zur Solarstromproduktion, da die Fahrbahnen ebenfalls komplett überspannt werden können
- Hohe Winterproduktion in alpinen Lagen, da kein Produktionsverlust durch Schnee entsteht
- Hohe Einsparungen für E-Mobilitätsladeinfrastruktur, weil die Fläche bereits vollständig elektrisch erschlossen wird und das Tragwerk für die Zuleitung zu Ladestationen benutzt werden kann.
- Beschattung bietet Schutz vor Hitze bei Arbeiten auf der Infrastruktur.

### Systemeigenschaften

Glasfreie Leichtbaumodule



Seilbahntechnologie



Meteo-Steuerung



Abbildung 2 Wichtigste Komponenten von HORIZON

Das Herzstück sind die glasfreien Leichtbaumodule; sie blenden nicht und spenden Schatten. Die eingesetzte Seilbahntechnologie ist robust und selbst unter den widrigsten Bedingungen langlebig. Eine integrierte Wetterstation mit redundanten Windsensoren zusammen mit einem Meteo-Algorithmus stellt den vollautomatischen Betrieb sicher. Das System ist an das schweizerische Hagelschutzsystem angeschlossen.

HORIZON ist im Baukastenprinzip aufgebaut und kann beliebig erweitert werden. Die Grundeinheit besteht aus 8 Bahnen und hat eine Leistung von ca. 104 kWp. Eine Bahn besteht normalerweise aus 40 Modulen und fährt als Einheit am Tragseil ein und aus.

Das System ist in der Länge (blau) und in der Breite (rot) erweiterbar.

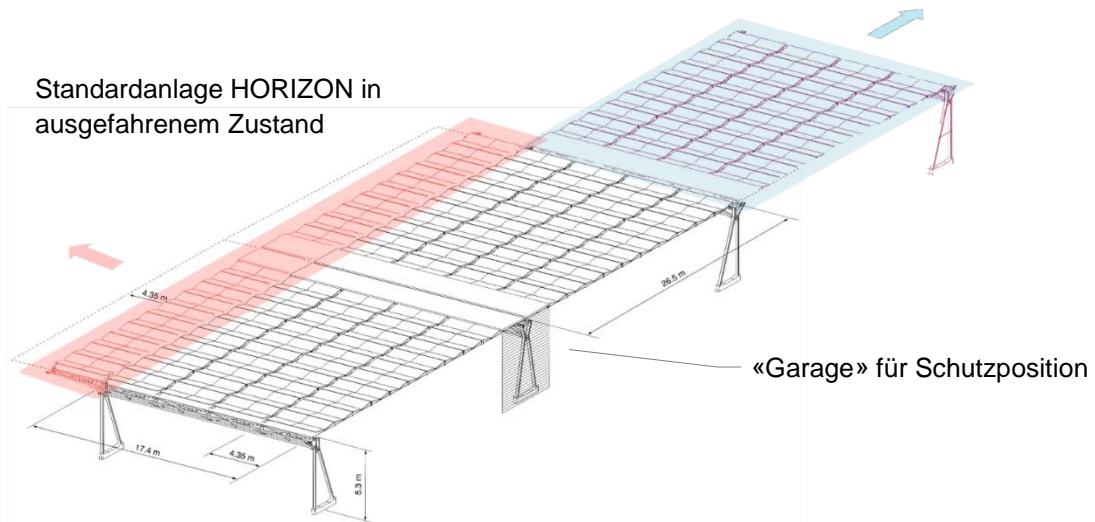


Abbildung 3 Skalierbarkeit des Systems. Verlängerung in der Breite, sowohl auch in der Länge um ein Mehrfaches einer Bahn möglich.

### Entwicklungsinfrastruktur

Dank der bestens ausgerüsteten Testinfrastruktur des Partnerunternehmens reech GmbH ist dhp technology AG in der Lage, die eigenen Module und Anlagenkomponenten zu testen. Das Testcenter bietet Prüfmethode wie Leistungsmessung, Elektrolumineszenz, Thermografie, Klima-, Pendel-, Isolations-, und Brandtests, sowie mechanische Belastungsprüfungen für Schnee- und Windlast. Zudem verfügt die dhp technology AG über einen firmeneigenen Prüfstand und eine Testanlage für Dauertests, mit welcher laufend Systemtests und Optimierungen am System gemacht werden. Im Pilotprojekt ARA Chur wird das System seit September 2017 vollautomatisch betrieben.

### Steuerung

Damit die Module vor starkem Wind, Schnee, und Hagel, sowie sonstigen Einwirkungen geschützt werden, sind die Bahnen automatisch gesteuert.

Die vollautomatische Steuerung mittels Meteo-Algorithmus stellt sicher, dass die Faltdachgruppe in die Grundstellung (Garage) fährt, sobald:

- eine Windeinwirkung >50 km/h herrscht (Freigabeschwelle konfigurierbar)
- Schneefall einsetzt
- die Einstrahlung unter einen Schwellwert fällt (frei konfigurierbar- und aktivierbar)
- die Zeitschaltung nicht aktiv ist (frei konfigurierbar- und aktivierbar)





Abbildung 4 Solarstromproduktion. 2'120 kristalline Leichtbau-Solarmodule werden innerhalb von 60s mittels robuster Seilbahntechnik ein- oder ausgefahren.



Abbildung 5 Faltdachgruppen garagiert in Schutzposition während Sturm, Hagel, Schneefall oder wahlweise in der Nacht.

Damit eine korrekte Steuerung gewährleistet werden kann, werden die lokalen Witterungs-Parameter von einer integrierten Wetterstation laufend überwacht (Wind, Temperatur, Niederschlag, Strahlung). Externe Wetterdaten (Hagelwarnsystem von Meteo Schweiz) ergänzen die Informationen.

Das System wird mit einer Webcam überwacht und die Steuerung ist in einem Fernwartungssystem eingebunden. Bei Unregelmässigkeiten werden Benachrichtigungen ausgelöst und mittels Fernzugriff kann bei Bedarf eingegriffen werden.

Im Falle eines Stromausfalles wird das Faltdach, durch eine USV gestützt, automatisch eingefahren. Bei einem systeminternen Kommunikationsausfall wird – im Sinne der Herstellung eines sicheren Betriebszustandes – das Faltdach ebenfalls automatisch eingefahren. Sollte es für ein einzelnes Faltdach notwendig sein, kann dieses mit einem Akkuschauber als Notbetrieb direkt an der Motorantriebswelle manuell eingefahren werden.

### *Statik*

Die Modulrahmen und Solarpaneele wurden unter Extrembelastungen getestet. Berücksichtigt wurden verschiedenste Einwirkungen, wie sie z.B. durch starke Winde, Schnee- und Eislasten entstehen. Die Anlage entspricht allen Anforderungen an die Sicherheit wie das für Gebäude und Maschinen vorgeschrieben ist. Die Solarmodule sind nach branchenüblichen Standards zertifiziert und weisen eine Garantiedauer von 25 Jahren aus.

### *Wartung*

Die Wartung der Anlage erfolgt immer vom Dach aus, wo über Luken in das Tragwerk eingestiegen werden kann. Damit wird die genutzte Fläche unter dem Tragwerk nicht beeinträchtigt. Eine Koordination mit der Nutzung bei allfälligen Wartungsarbeiten entfällt. Die Solarmodule werden vor der Garage in eine Wartungsposition gefahren und können so begangen werden (Trägersystem der Module ist trittfest ausgelegt). Ein Austausch einer Modulgruppe (4 Module mit Rahmen) kann von 2 Personen gemacht werden.



Abbildung 6 Faltdachgruppe (FDG) in Wartungsposition.



Abbildung 7 Einfacher Zugang zu Betriebsmitteln wie Generatoranschlusskästen und Antrieben

### *Arbeitssicherheit*

Um jederzeit die Arbeitssicherheit zu gewährleisten ist das Dach über der Garage mit einer permanenten Absturzsicherung (Seilsystem für PSaGA) versehen. Wartungsarbeiten am Faltdachsystem finden über den Dachzugang der Modulgaragen statt, um den Betrieb der Kläranlage nicht zu beeinträchtigen.

### *Korrosionsschutz*

Das Solarfaltdach ist konstant der Witterung ausgesetzt. Damit die Anlage über die Lebensdauer intakt bleibt, werden die Stahlkomponenten aus feuerverzinktem Stahl hergestellt. Stahlkomponenten über Vorklär- und Belüftungsbecken werden zusätzlich duplexiert. Blechteile der Faltdachgruppen sind aus rostbeständigen Werkstoffen gefertigt, welche speziell gegen Ammoniak und Schwefelwasserstoff beständig sind. Alle verwendeten Kunststoffteile sind hoch UV-stabil.



## Vorgehen und Methode

### *Realisierung des Pilotprojekts Solarfaltdach HORIZON ARA Chur*

Die Realisierung des Pilotprojekts erfolgte aus Gründen der Teilung des Tragwerks im Stahlbau in zwei Phasen:

- Phase 1: 180kWp mit Inbetriebnahme am 04. September 2017, zu diesem Zeitpunkt startet auch das Monitoring
- Phase 2: Erhöhung auf die Nominalleistung des Pilotprojektes von 298kWp im Rahmen des Vollausbaus auf 643kWp mit Inbetriebnahme am 15. Juli 2018



Abbildung 8 Solarfaltdach HORIZON mit 643kWp Leistung und 53 individuelle angesteuerten Faltdachgruppen der IBC Energie Wasser Chur auf der Abwasserreinigungsanlage ARA Chur (dhp technology AG), rot markiert: Phase 1 mit IBN September 2017





Abbildung 9 Das seilbasierte Solarfaltdach fährt die 2'120 glasfreien polykristallinen Leichtbaumodule (72 Zeller) innert 60s mittels robuster Seilbahntechnik in die Schutzposition



Abbildung 10 Module sicher aufgaragiert in Schutzposition bei Sturm, Hagel, Schneefall und wahlweise in der Nacht

Die technischen Daten des Solarfaltdachs HORIZON sind im Anhang 1 zu finden. Die Untersuchungen zu den vereinbarten Projektzielen erfolgen durch Analyse der im ersten Betriebsjahr gesammelten Betriebsdaten, den Analysen im Zuge der im November 2018 durchgeführten ersten Jahresinspektion sowie durch das Gespräch mit dem Kläranlagenbetreiber.



## Datenerfassung

Die Datenerfassung erfolgt mittels der in der Systemarchitektur des Solarfaldach HORIZON enthaltenen Sensoren und Zähler:

- *Wetterdaten:* Wetterkompaktstation und beheizter Anemometer
- *Lasteinwirkung auf Tragseile:* Lastmessdose Tragseilspannung
- *Fahrprofil und Stromaufnahme Antriebe:* Motorendaten der Faltdachgruppenantriebe (Drehstrom Asynchrontriebemotoren)
- *PV-Produktionsdaten:* Daten der Wechselrichter via SolarLog
- *AC-Arealnetzeinspeisung:* Wandlermessung im AC-Schrank Solarfaldach HORIZON
- *Geeichte Zähler:* Zähler EVU Produktion, Zähler EVU Hauptanschluss ARA Chur

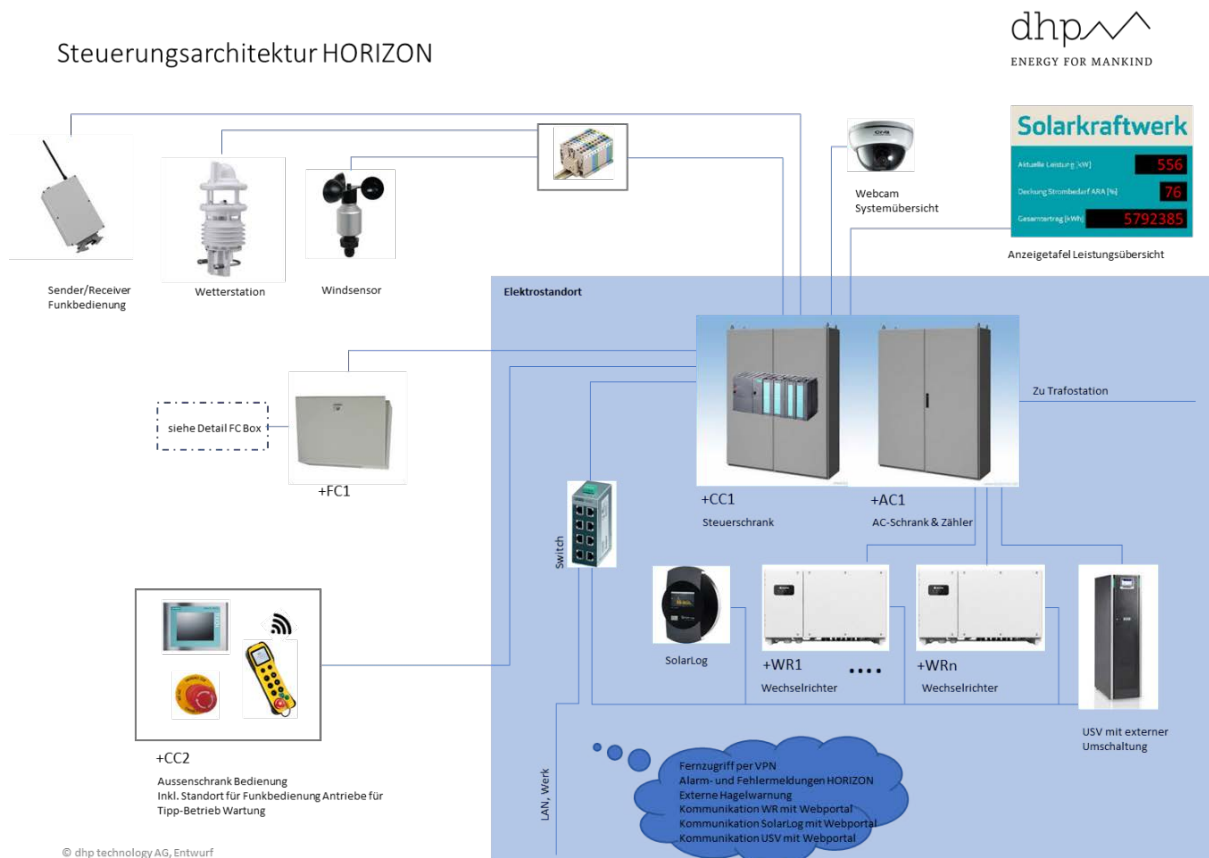


Abbildung 11 Auszug aus Systemarchitektur Solarfaldach HORIZON, ARA Chur (dhp technology AG)



## Diskussion der Ergebnisse

### *Messung Eigenstromproduktionsanteil ARA Chur*

Nach der Inbetriebnahme des Vollausbau auf 643kWp betrug die Stromproduktion in der Periode August bis November 2018 rund 210'300kWh. Davon wurden rund 17'000kWh ins Netz eingespiessen, das entspricht einer Eigenverbrauchsquote von rund 92% und einem Autarkiegrad von rund 23% Eigenstromproduktion.

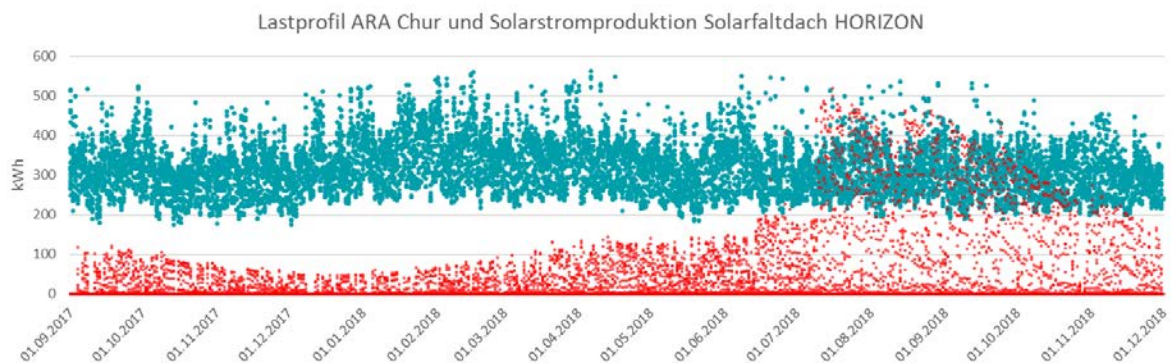


Abbildung 12 Lastprofil ARA Chur und Produktion Solarfaltdach HORIZON ARA Chur. Inbetriebnahme Ausbau auf 643kWp im Juli 2018. Etwas Rückspeisung in den Monaten August und September 2018. Datenpunkte grün: Lastprofil; Datenpunkte rot: Solarstromproduktion

### *Demonstration und Qualifizierung Solarstromproduktion über Kläranfrastruktur*

Für das erste Betriebsjahr wurden neben den Ertragsdaten die wetterbedingten Fahrten und Ertragsminderungen ausgewertet. Es interessieren insbesondere die Anzahl Fahrzyklen, die durch das Wetter (Sturm, Schnee, Hagel) am windreichen Standort Chur im Föhn reichen Churer Rheintal erzwungen wurden. Wenige Kilometer entfernt in Haldenstein befindet sich ein Windkraftwerk der Calanda Wind AG.

Der spezifische Ertrag inkl. wetterbedingtem Einfahren liegt für das erste Betriebsjahr bei rund 980 kWh/kWp und liegt rund 10% über den Ertragserwartungen, obwohl die Anlage während den Bauarbeiten teilweise ausser Betrieb war. Der Erwartungswert von 890 kWh/kWp wurde Anhand einer Simulation und Annahmen zum Windverlust festgelegt. Der hohe Wert aus dem ersten Jahr ist nebst dem reibungslosen Betrieb darauf zurückzuführen, dass das Wetter während der ausgewerteten Periode über dem langjährigen Durchschnitt lag (Auswertung Globalstrahlung 2018 und langjähriges Mittel, Quelle Meteo Schweiz).

Die Anlage lief im Zeitschaltuhrbetrieb und fuhr über Nacht in die Schutzposition ein. Es wurden total rund 680 Zyklen gefahren. Dies beinhaltet auch Zyklen durch Handsteuerung bei Führungen und während dem Bau. Es sind rund 80 Zyklen auf Wind zurückzuführen und rund 21 Zyklen auf Schneefall. Interessant ist, dass kein Zyklus aufgrund des Hagelsignals (Hagelwarnsignal der Vereinigung kantonaler Gebäudeversicherungen) gefahren wurde, da die Faltdachgruppen bereits im Vorfeld durch die Windabschaltung den Einfahrbefehl erhalten hatten. Die Anzahl Zyklen im ersten Betriebsjahr liegen rund 30% tiefer als die Erwartungen der dhp technology AG (es wurde von rund 1'000 Zyklen pro Jahr ausgegangen).

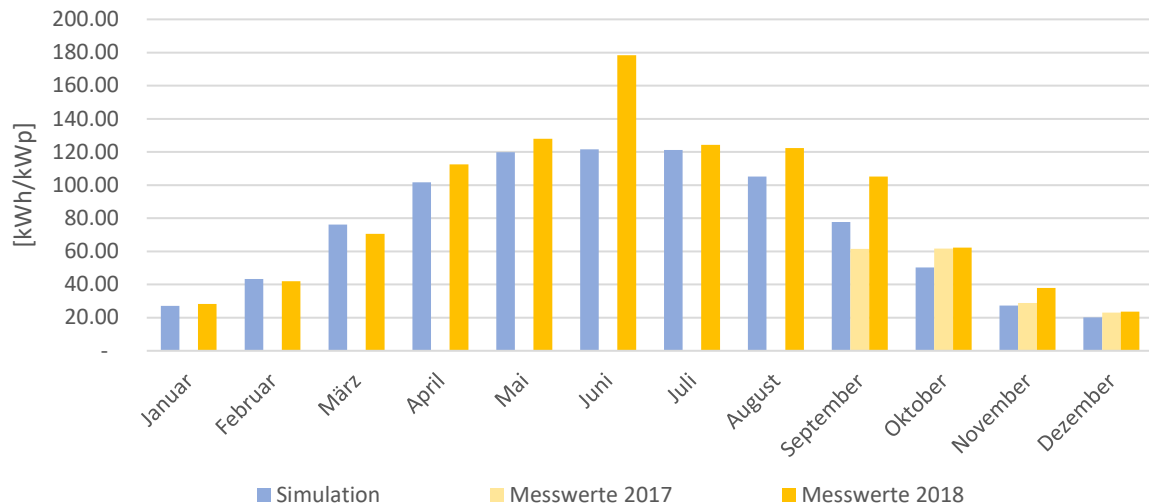


Abbildung 13 Vergleich Simulation vs. realem Ertrag 2017/2018 (Anm.: Inbetriebnahme Ausbau auf Ende Juni 2018), der spezifischer Ertrag inkl. wetterbedingtem Einfahren und anderen Standby-Zeiten aufgrund der Bauphasen liegen für das erste Betriebsjahr bei rund 980 kWh/kWp im Jahr (Daten SolarLog)

Die Auswertung der Produktionsdaten des ersten Betriebsjahres ergibt einen windbedingten Minderertrag von rund 2.5% (vgl. Abbildung 14). Die Einfahrschwelle (Windabschaltsschwelle) wurde während des ersten Betriebsjahres kontinuierlich nach oben gesetzt, was bedeutet, dass der windbedingte Minderertrag für das folgende Betriebsjahr bei vergleichbarer Witterung eher tiefer ausfallen könnte. Der schneebedingte Ertragsverlust lag bei niedrigen 0.3%. Dies rührt daher, dass die Module bei Schneefall in die Schutzposition eingefahren werden. Der Einfluss dieser unproduktiven Phase ist deshalb nicht ausschlaggebend, da im Winter die Sonnenscheindauer und der Einstrahlungswinkel niedrig sind und bei Schneefall die Einstrahlungsverhältnisse keine hohe Stromproduktion zulässt. Im Vergleich zu fixen Anlagen ist der Ertragsverlust durch Schnee auch deshalb viel geringer, da die Module in Schutzposition nie schneebedeckt sind und die Anlage bei der nächsten passenden Witterung produktionsbereit, und damit sehr gut für die Winterstromproduktion geeignet ist.

Die Verluste während des Baus sind für das Jahr 2018 einmalig und werden künftig nicht mehr auftreten. An Zahlreichen Führungen wurde das Solarfaldach, insbesondere das Ein- und Ausfahren der Faltdachgruppen, einem interessierten Publikum demonstriert. Dadurch wurden, gerade nach der Einweihung im Sommer, kleine Ertragsverluste registriert.

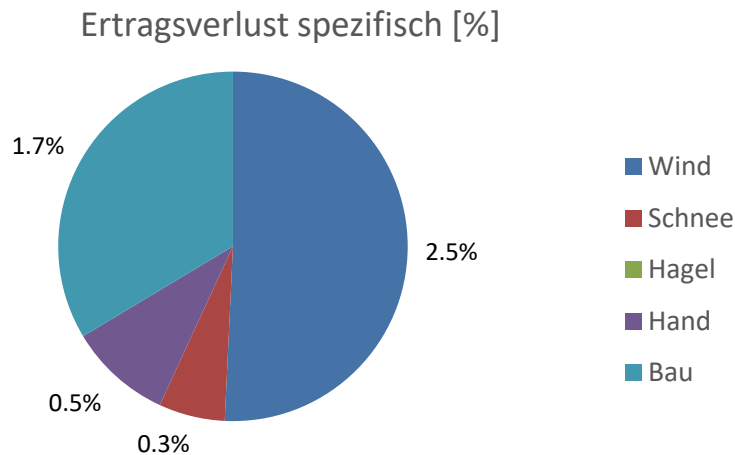


Abbildung 14 Gründe für Ertragsverluste durch Einfahren der Module nach Anteilen am Gesamtverlust während Pilot- und Bauphase (im Zuge des Vollausbaus), Führungen, Tests und Inbetriebnahmen (Hand)

Mit der Thermografiedrohne der Firma reech gmbh wurde das Solarfaltdach am 15. November 2018 abgeflogen. Interessiert haben insbesondere, ob Unterschiede der bereits seit einem Jahr betriebenen Faltdachgruppen aus Phase 1 und den Mitte Juli 2018 in Betrieb genommen Faltdachgruppen aus Phase 2 festgestellt werden können. Wie in Abbildung 15 ersichtlich, konnten keine Unterschiede zwischen den Modulen der Faltdachgruppen aus Phase 1 vom September 2017 gegenüber denjenigen aus Phase 2 vom Sommer 2018 festgestellt werden.

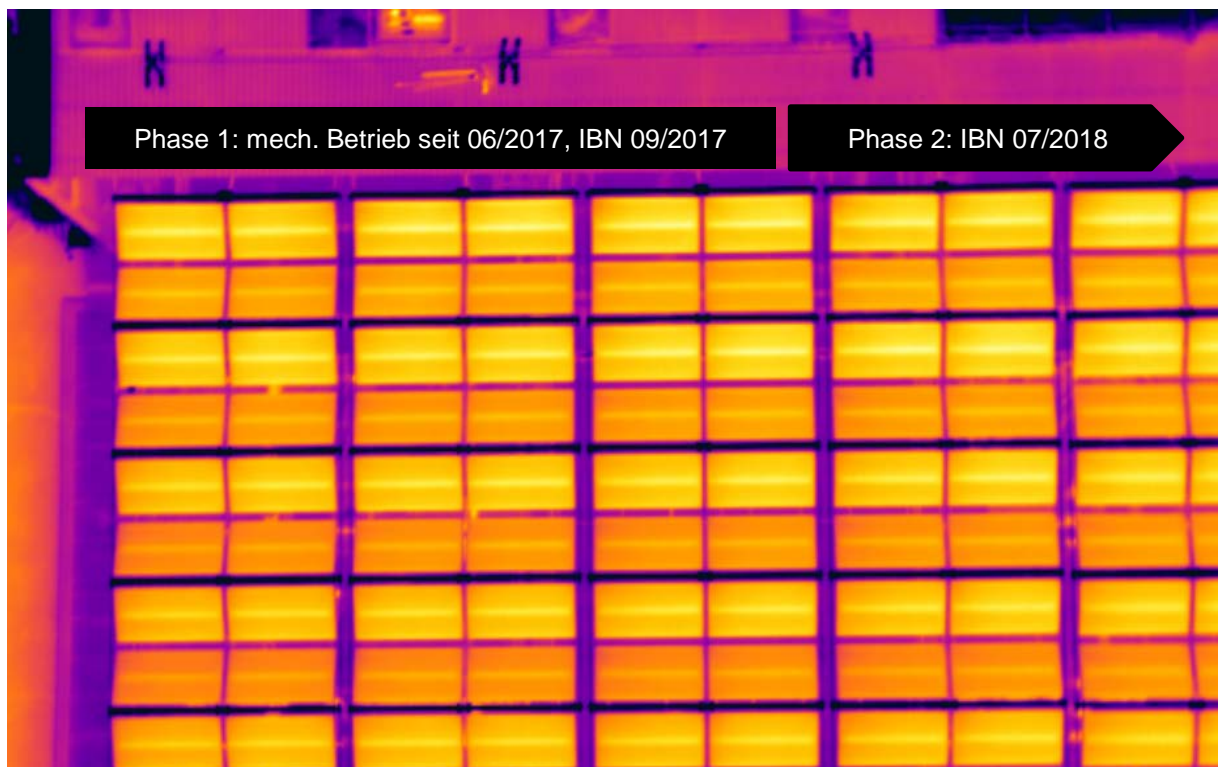


Abbildung 15 Ausschnitt IR-Thermografie mit Drohne reech gmbh, Vergleich >1jähriger Automatikbetrieb mit neu installierter Faltdachgruppe aus Bauabschnitt Phase 2 (Bild reech gmbh, 15. November 2018).

### ***Kompatibilität mit Klärbetrieb***

#### *Verankerung: infrastrukturintegrierte Photovoltaik*

Auch bei der Verankerung folgt das Konzept des Solarfaltdachs konsequent dem Gedanken der Doppelnutzung. Die durch den Beckenbestand bereits vorhandenen, sehr grossen Betonmassen werden im Bereich der Endabspannung als Gegengewicht aktiviert. Die Befestigung der Stützen für den Stahlbau erfolgt über direkt auf die Beckenkronen gesetzte Klebeanker. Dadurch lassen sich zusätzliche Fundamente und Erdanker vermeiden. Das ist ressourcenschonend und kosteneffizient.

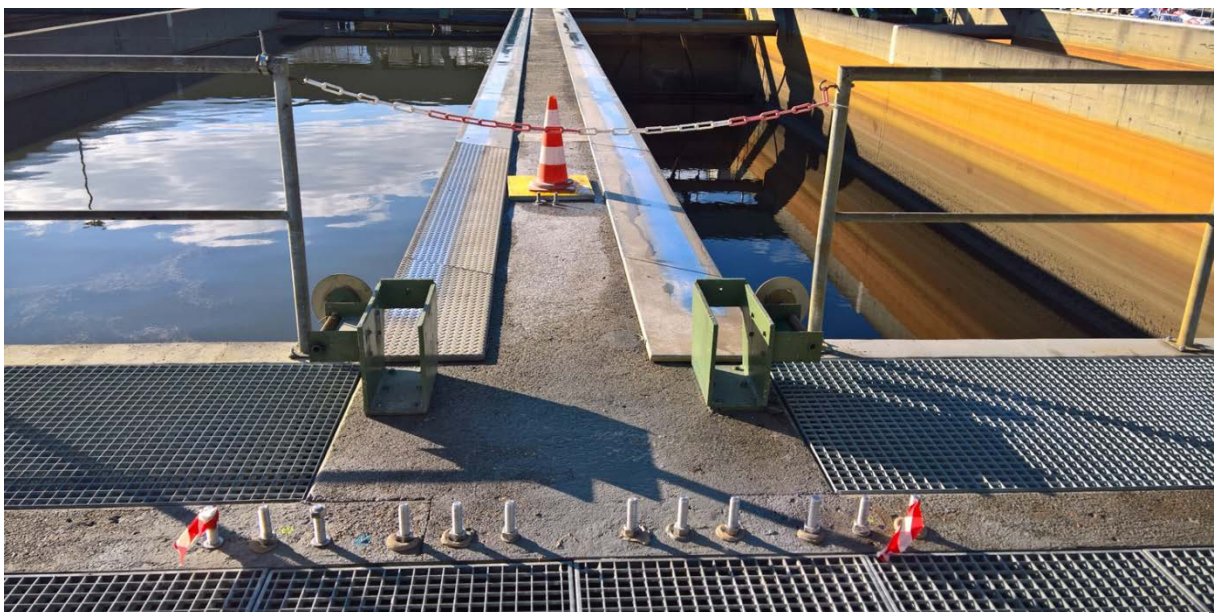


Abbildung 16 Verankerung am Beckenbestand mit Klebeanker



### *Zugänglichkeit für Wartung an der Kläinfrastruktur*

Aufgrund des grossen Stützenrasters (rund 26.5 x 8m und 26.5 x 17m) und der wenigen Fusspunkte wird der Klärbetrieb in keiner Art und Weise gestört. Weiter können alle oder einzelne Faltdachbahnen in die Schutzposition gefahren werden, um den freien (Kran-)Zugang zu den Becken und deren Einbauten gewähren zu können. Bei einer eingefahrenen Faltdachgruppe öffnet sich ein Fenster von rund 24 x 4,3m. Das hat sich auch im ersten Betriebsjahr so bestätigt und bewährt. An einzelnen Fusspunkten wurden Umgehungspodeste erstellt, um das einfache Begehen schmaler Wartungsgänge für Kontrollgänge sicherstellen zu können.



Abbildung 17 Solarfaltdach HORIZON ARA Chur: Stütze auf Beckenkronen mit Umgehungspodest für einfache Begehrbarkeit bei Kontrollgängen





### *Zugänglichkeit für Wartung an Solarfaltdach*

Das Wartungskonzept des Solarfaltdaches ist so ausgelegt, dass sämtliche Wartungsarbeiten über das Tragwerk bzw. das Dach der Garagen - gesichert über eine permanente Absturzsicherung - erfolgen können. So ist sichergestellt, dass keine Konflikte mit dem Primärbetrieb der Infrastrukturfläche (Kläranlage, Parkplatz, Logistikfläche) entstehen. Über Luken im Dach kann einfach auf Antriebstechnik, Generatoranschlusskasten und Feldverteilkästen zugegriffen werden.



Abbildung 18 Lukenzugang zu Antrieb und Generatoranschlusskasten auf dem Hauptdach



Abbildung 19 Faltdachgruppe in Wartungsposition

### *Korrosionsschutzklasssegerechte Bauart und Wahl der Betriebsmittel*

Basierend auf der von der reech gmbh in Zusammenarbeit mit der Eawag, der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz SGK, der SUPSI und der Hunziker Betatech AG durchgeführten Studie mit Messungen von Gaskonzentrationen über verschiedenen Klärstufen und den Erfahrungswerten aus der Abwasserbranche, wurden Anforderungen für einen sicheren Betrieb der Tragstruktur und Betriebsmittel definiert. Das Tragwerk ist auf Korrosionsschutzklasse C4 ausgelegt, das laufende Gut aus rostfreiem Stahl gefertigt, die Module zusätzlich nach der IEC62716 Ammoniak-Korrosionsprüfung getestet.

### *Verschmutzung durch Vogelkot*

Die Verschmutzung durch Vogelkot hält sich am Standort der ARA Chur in akzeptablen Grenzen, die Module können bei Regen ausgefahren bleiben. Bei starken Verschmutzungen kann das Faltdach in Wartungsposition (kurz vor Einfahren in Garage) einfach gereinigt werden. Während dem ersten Betriebsjahr und während der ersten Jahresinspektion im November 2018, musste keine Modulreinigung vorgenommen werden.



Abbildung 20 Vogelkot auf Moduloberfläche





### ***Synergien im Klärbetrieb***

#### *Schatten für Arbeiten auf und an den Klärbecken*

Das Betriebsteam der ARA Chur meldet zurück, dass der durch das Solarfaltdach verursachte Schatten das Arbeiten an heissen Tagen sehr viel angenehmer macht. Auf den Klärbecken wird im täglichen Klärbetrieb viel gearbeitet und es werden regelmässig Kontrollgänge, Reinigungen, Wartung und Revisionen an Maschinen und Beckenbestand gemacht.



Abbildung 21 Beleungs- und Nachklärbecken ARA Chur mit Beschattung durch Solarfaltdach im Sommer 2018



Speziell Revisionsarbeiten in den entleerten Becken an praller Sonne sind besonders hart. Hier bringt das Solarfaltdach durch die Beschattung eine bis heute nicht bekannt gewesene Milderung der Arbeitsbedingungen.



Abbildung 22 Entleertes Vorklärbecken (VKB) der ARA Chur in Revision und beschattet durch Solarfaltdach HORIZON im Herbst 2017

### *Algenwachstum*

Das Betriebsteam der ARA Chur hatte bereits vor dem Bau des Solarfaltdach in der Nachklärung Versuche zur Reduktion des Algenwachstums durch Abdecken mit Blachen gemacht. Die Erfahrungen damit sind durchwegs positiv. Nach dem Vollausbau wurden Anfang August 2018 in zwei Nachklärstrassen die Blachen entfernt, um den Einfluss der Reduktion der UV-Einstrahlung durch das Faltdach und die daraus möglicherweise resultierende Reduktion des Algenwachstums empirisch zu untersuchen.

Betriebsleiter ARA Chur, Curdin Hedinger (13.12.2018): «Die Abdeckungen (Blachen) wurden wie folgt entfernt: NKB6 kurz nach dem Vollausbau Ende Juli, NKB1 Mitte September und NKB5 im November 2018. In dieser Zeit wurden keine Reinigungen der Rinnen ausgeführt, ausser direkt nach dem Abdecken der Becken.

Erkenntnisse: NKB5 weist natürlich den geringsten Anteil Algen auf, dies aufgrund der erst vor einem halben Monat getätigten Reinigung. Die geringe Algenbildung kann nebst der Beschattung aufgrund der tieferen Abwassertemperaturen und den in den letzten Tagen kräftigen Regenereignissen vermindert worden sein.



Der beste Vergleich liefert der Vergleich von NKB1<sup>2</sup> zu NKB6. Nach genauer Betrachtung zeichnet sich hier ein vermindertes Algenwachstum im NKB6 zum NKB1 ab, obwohl das NKB6 knapp 2 Monate länger abgedeckt ist als das NKB1. Das NKB6 wird dabei vom Solarfaltdach deutlich mehr beschattet als das NKB1, welches sich entgegen dem NKB6 am äusseren Rand der PVA befindet und dadurch mehrere Stunden am Tag der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist.



Abbildung 23 vollflächige Abdeckung des Nachklärbeckens (NKB), ARA Chur, Langzeiterfahrung und Nachweis Wirkung besteht



Abbildung 24 Abdeckung (NKB) auf 2 Bahnen entfernt, ARA Chur Ende Juli 2018, Verhalten Algenbildung unter Beobachtung

---

<sup>1</sup> NKB 1: Randbecken in der Nachklärung; NKB 6: Becken im Mittenbereich





Abbildung 25 Überlaufkanal Nachklärbecken 1 mit Algenbildung, Randbecken

Folglich kann ausgesagt werden, dass eine Verminderung des Algenwachstums im bisherigen Zeitabschnitt durch die Beschattung tatsächlich besteht. Wie sich das Algenwachstum über ein ganzes Betriebsjahr verhalten wird, wird in den kommenden Monaten beobachtet.

#### *Tragwerksintegrierte LED-Beleuchtung*



Abbildung 26 LEB-Beleuchtung an Tragwerk Solarfaltdach

Den Umstand, dass nun über die Beckenbreite verlaufende Tragstrukturen zur Verfügung stehen, weiss das Betriebsteam der ARA Chur zu nutzen. Die ARA Chur befestigt in einer einfachen Nachrüstung eine magnetisch am Tragwerk angebrachte LED-Beleuchtung für die darunterliegende Infrastruktur. Da die



Kabelführung einfach und unter Mitnutzung der Kabeltrassen vom Solarfaltdach erfolgen kann, ist die Beleuchtung rasch installiert.

#### *Vermeidung von Verletzungen bei Enten*

Das Betriebsteam der ARA Chur hatte in der Vergangenheit im Bereich der Nachklärung diverse Enten mit Schnabelverletzungen registriert, da diese beim Aufenthalt im Becken den Schnabel im mittels Kettenantrieb bewegten Räumern einklemmten. Durch die Überdachung mit dem Solarfaltdach halten sich die Enten nicht mehr im Nachklärbecken auf.

#### *Öffentlichkeitswirksamkeit*

Das Solarfaltdach erzeugte grosses Interesse bei Medien (lokale Presse, Baublatt, Kommunalmagazin, electrosuisse Bulletin, SRF 10 vor 10, ...), Verbänden (SSES, VSA, InfraWatt, ...) und der Bevölkerung. 2018 fanden diverse Führungen mit Gruppengrössen bis zu 40 Personen statt. Auch Schulklassen wird während der Besichtigung der ARA die Bedeutung von Eigenverbrauchsprojekten im industriellen Massstab einfach und anschaulich vermittelt. Die Stadt Chur und der heimische Energieversorger IBC Energie Wasser Chur gehen mit gutem Beispiel voran. Passanten werden durch eine Infotafel und eine vom Radweg aus einsehbare Anzeigetafel über das Projekt informiert.



Abbildung 27 Anzeigetafel



Abbildung 28 Fassadenbeschriftung von Autobahn A13 aus einsehbar





Abbildung 29 Informationstafeln zum Solarfaltdach und dem Klärwerk am Eingang zur ARA Chur

#### *Anschub weiterer Innovationen im Klärbetrieb*

Gemäss Auskunft der Tiefbaudienste der Stadt Chur hat das Projekt des Solarfaltdachs auch weiteren Innovationsprojekten im Energiebereich auf der ARA Chur zusätzlichen Auftrieb gegeben. Weiter konnte die Kläranlage Chur im November 2018 für das Solarfaltdach den Innovationspreis im Rahmen der Medaille d'eau Preisverleihung entgegennehmen.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Auf Kläranlagen gibt es oft keine grossen Dachflächen, welche eine interessante Solarstromproduktion erlauben. Jedoch ist genau hier das Interesse Solarstrom zu produzieren sehr gross, aufgrund des konstant hohen Stromverbrauchs. In den meisten Fällen ist es möglich 100 % des erzeugten Solarstroms vor Ort zu nutzen.

Eine Kläranlage bietet auch sonst ideale Voraussetzungen für das Solarfaltdach: Grosse (Becken-) Flächen können doppelt genutzt werden und oftmals dient die Betonmasse der Beckenkronstruktur dem System als ausgezeichnetes Fundament. Fixe Konstruktionen kommen über Klärbecken nur selten in Frage, da der Zugang zu den Becken von oben aus betrieblichen Gründen unverzichtbar ist.

Mit dem Solarfaltdach HORIZON konnten erstmals im grossen Massstab offene Klärbecken mit Photovoltaik überspannt werden. Das eröffnet Kläranlagen die Möglichkeit das grosse Flächenpotential der Becken zur weiteren Steigerung der Eigenstromproduktion zu nutzen. Die Nutzfläche wird damit durch die Doppelnutzung einem weiteren wirtschaftlichen Nutzen zugeführt, das steigert die Effizienz im Umgang mit verfügbaren Bodenressourcen im urbanen Raum.



Die Betriebserfahrungen bestätigen die Praxistauglichkeit des Systems. Das vergangene Jahr hat gezeigt, dass es wichtig ist eine Demonstrationsanlage zeigen zu können, um Interessierte von der Anwendung begeistern und überzeugen zu können. Im kommenden Jahr werden weitere Solarfaltdachprojekte auf Kläranlagen und Parkplätzen umgesetzt.

In einer verkürzten Messperiode - nach dem Vollausbau auf 643kWp Leistung - wurde in der Periode vom Augst bis November 2018 eine Eigenverbrauchsquote von rund 92% gemessen und ein PV-bezogener, gemittelter Eigenstromproduktionsanteil von 23% erreicht<sup>3</sup>.

Der Abbau von Investitionshürden zur Solarstromproduktion über offenen Klärbecken aus Gründen der Unsicherheit konnte mit diesem Demonstrationsprojekt in der Branche deutlich und spürbar abgebaut werden. Interessant sind auch die – teils nicht erwarteten Synergien mit dem Klärbetrieb – die sich im Verlaufe der Projektrealisierung ergeben haben.

### ***Nächste Schritte nach Projektabschluss***

Die Auswertung der Betriebsdaten und Erfahrungen werden weiter fortgesetzt und dienen der Optimierung der systemspezifischen Prognosemodellen und der Weiterentwicklung des Produktes Solarfaltdach HORIZON, sowie auch zur Entwicklung von Ansätzen zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote und des Autarkiegrades von Kläranlagen mit grossen Solarstromproduktionsanlagen. Die dhp technology AG fokussiert sich auf die Entwicklung und Serienproduktion des Solarfaltdachs sowie der Projektentwicklung und -umsetzung im Bereich der Kläranlagen, Park- und Logistikflächen in der Schweiz. Im Jahr 2019 wird dhp vier bis fünf Projekte auf Kläranlagen und Parkplätzen realisieren. Gleichzeitig bereitet sie erste Schritte für die Markteintrittsplanung in ausgewählte europäische Länder vor.

Als Projektpartner danken wir dem BFE für die wichtige Unterstützung im Rahmen des P+D Programms zur Umsetzung dieses interessanten Projektes, das mit der Industrialisierung, der automatisierten Produktion und der Projektrealisierung als TU weitere spannende und interdisziplinäre Arbeitsstellen in der Schweiz schaffen wird. Weiter bereitet die dhp technology AG im Rahmen des EU-Programmes HORIZON 2020 den Markteintritt Europa vor.

---

<sup>3</sup> Anmerkung: die ARA Chur betreibt die Schlamm Trocknung für andere ARAs, was den Strombedarf weiter erhöht. Die ARA ist noch nicht mit der energieintensiven vierten Klärstufe für Mikroverunreinigung ausgerüstet





## Anhänge

- A Projektbeschrieb Solarfaltdach HORIZON ARA Chur
- B Aqua & Gas No 11 / 2018



## Abkürzungsverzeichnis

|         |   |
|---------|---|
| A13     | Autobahn 13 (Schweiz)   |
| AC      | Wechselstrom  |
| ARA     | Abwasserreinigungsanlage, Klärwerk                                |
| BFE     | Bundesamt für Energie der Schweizerische Eidgenossenschaft        |
| BHKW    | Blockheizkraftwerk  |
| DC      | Gleichstrom   |
| EVU     | Energieversorger  |
| EVU     | Energieversorgungsunternehmen                                     |
| IBC     | Industrielle Betriebe Chur, IBC Energie Wasser Chur               |
| IBN     | Inbetriebnahme  |
| IEC     | International Electrotechnical Commission                         |
| IR      | Infrarot  |
| KTI     | Kommission für Technologie und Innovation                         |
| kWh     | Energie   |
| kWh/kWp | spezifischer Ertrag (Energie) pro installiertem Kilowatt Leistung |
| kWp     | Leistung  |
| LED     | Beleuchtung mittels Leuchtdioden                                  |
| LKW     | Lastkraftwagen  |
| NKB     | Nachklärbecken  |
| P+D     | Programm Pilot und Demonstrationsprojekte des BFE                 |
| PSAgA   | Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz                        |
| PV      | Photovoltaik  |
| PVA     | Photovoltaikanlage  |
| SGK     | Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz                  |
| SRF     | Schweizer Radio und Fernsehen                                     |
| SSES    | Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie                      |
| SUPSI   | Fachhochschule der italienischen Schweiz                          |
| TU      | Totalunternehmung (Planung und Bauausführung)                     |
| URE     | Unterhalt, Reparatur, Ersatz                                      |
| USV     | Unterbrechungsfreie Stromversorgung                               |
| UV      | Ultraviolett  |
| VKB     | Vorklärbecken   |
| VSA     | Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute           |
| ZHAW    | Zürcher Fachhochschule für Angewandte Wissenschaften              |

# Solarfaltdach HORIZON ARA Chur

dhp technology AG  
Weststrasse 7  
7205 Zizers

Tel. +41(0)81 325 34 11  
[info@dhp-technology.ch](mailto:info@dhp-technology.ch)  
[www.dhp-technology.ch](http://www.dhp-technology.ch)

dhp   
ENERGY FOR MANKIND

## KENNZAHLEN

|                                | Pilotprojekt  | Vollausbau           |
|--------------------------------|---|----------------------|
| Installierte Leistung          | 180 kWp   | 643 kWp              |
| Inbetriebnahme                 | September 2017  | Juli 2018            |
| Anzahl Faltdachgruppen         | 15 Stk.   | 53 Stk.              |
| Anzahl Module                  | 600 Stk.  | 2'120 Stk.           |
| Überspannte Fläche             | 1'600 m <sup>2</sup>  | 5'800 m <sup>2</sup> |
| Bausumme                       | 1.6MCHF (exkl. BFE P+D Beitrag)   |                      |
| Modultyp                       | DAS Energy 6x12 Poly, 295 - 310 Wp sortiert                                   |                      |
| Ausrichtung und Neigungswinkel | 48° SW, -132°NE, Modulneigung 10°   |                      |
| Seilhöhe über Beckenkrone      | 5.5 m   |                      |
| Sicherheit                     | Batteriebackup für das Einfahren bei Stromausfall                             |                      |
| Korrosionsschutz               | Faltdachgruppen aus rostfreiem Stahl<br>Tragwerk feuerverzinkt und duplexiert |                      |
| Einfahrbedingungen             | Wind >15 m/s, Hagel, Schneefall   |                      |
| Jährlicher Solarertrag         | 540'000 kWh   |                      |
| Eigenverbrauch                 | 100 %   |                      |
| Solarer Deckungsgrad           | 20 % (exkl. Schlamm Trocknung)  |                      |

## UNSERE PARTNER



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra



**Stadt Chur**



## EINZIGARTIGKEIT



Als einziges Solarsystem lässt HORIZON die Fläche darunter völlig frei und eröffnet neue Potentiale.

## INTEGRATION



Das Tragwerk gliedert sich optimal in die bestehende Beckenstruktur ein. Die Becken agieren als Fundament für das Tragwerk, wodurch Ressourcen geschont werden.

## VOLLAUTOMATISCH



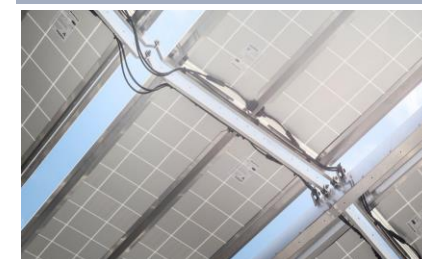
Die Module werden vor Sturm, Schneefall und Hagel geschützt, indem sie vollautomatisch in die Garage einfahren.

## MEHRFACHNUTZEN



Eine bereits genutzte Fläche wird elegant überspannt und zusätzlich zur Stromproduktion genutzt.

## LEICHTIGKEIT



Der Leichtbau auf Stahlseilen mit glasfreien Modulen erlaubt grosse Stützenabstände und spart 50 % Material.

## QUALITÄT



In unserer Produktion in Landquart fabrizieren wir das Solarfaltdach und liefern alles aus einer Hand.





## DREI KLÄRANLAGEN ZEIGEN WEG ZUR ENERGIEAUTARKIE

An der Energietagung von VSA und InfraWatt durften 23 Kläranlagenbetreiber die Auszeichnung Médaille d'eau entgegennehmen. **Speziell ausgezeichnet wurden die herausragenden Innovationsprojekte der ARA Seez (Flums), ARA Chur und des Klärwerks Werdhölzli (Zürich).** Sie zeigen, dass mit einer klaren Strategie eine energieautarke Kläranlage angestrebt werden kann und dass der Mehrverbrauch an Strom für die Elimination der Mikroverunreinigung auch bei energetisch guten ARA mit Solarenergie kompensiert werden kann.

*Ernst A. Müller,\* InfraWatt und Arbeitsgruppe Energie des VSA*

### RÉSUMÉ

#### PRIX DE L'INNOVATION «MÉDAILLE D'EAU» – TROIS STATIONS D'ÉPURATION MONTRENT LA VOIE VERS L'AUTARCIE ÉNERGÉTIQUE

Lors de la journée technique «Médaille d'eau», trois projets énergétiques innovants ont été récompensés. Les mesures mises en œuvre allaient de l'installation d'un procédé biologique efficace au niveau énergétique avec lit fluidisé hybride, à des centrales chaleur-force modernes, ou encore à un projet de toit solaire pliant ainsi qu'à des mesures pour la flexibilité de la production de courant et la formation des employés pour l'optimisation énergétique de l'entreprise. La STEP Seez à Flums (SG) a notamment convaincu le jury avec son objectif stratégique d'autosuffisance énergétique et sa mise en œuvre systématique de mesures globales. Les deux autres projets montrent qu'une station d'épuration équipée d'énergie solaire peut couvrir 20% de sa consommation totale de courant avec l'énergie renouvelable produite. Cela correspond environ à la consommation supplémentaire de courant entraînée par l'élimination des micropolluants exigée par la loi. La station d'épuration Werdhölzli à Zurich utilise les surfaces du toit et des façades du nouveau bâtiment pour éliminer les micropolluants et développera peu à peu l'énergie solaire pour d'autres bâtiments également. La STEP de Coire a présenté un autre projet – une première mondiale – en posant une installation solaire au-dessus des grands bassins des eaux usées de la biologie. La construction innovante avec toit pliant permet d'accéder sans problème aux bassins.

### MÉDAILLE D'EAU

Alle fünf Jahre – erstmals 2003 – vergeben der Verein InfraWatt und der VSA die Médaille d'eau an energieeffiziente ARA. Damit sollen Kläranlagenbetreiber für ihre überdurchschnittlichen Anstrengungen im Energiebereich belohnt und die Branche zu weiteren Taten motiviert werden. Die Übergabe der begehrten Auszeichnungen wird jeweils zum Anlass genommen, eine Energietagung durchzuführen, um über den neusten Stand der Entwicklungen von Energieoptimierungen zu informieren und den Austausch von Erfahrungen und Know-how zu ermöglichen. Dabei soll auch ein Blick in die Zukunft und über den Zaun der ARA geworfen und innovative Projekte vorgestellt werden.

#### AUSZEICHNUNG UND INNOVATIONSPREIS

Um die Auszeichnung von Médaille d'eau in diesem Jahr zu erhalten, mussten die Kläranlagen aufzeigen, dass sie bezüglich der energetischen Qualität gemessen an den strengen Energierichtwerten von Bund/EnergieSchweiz und VSA top sind. Bei 23 Anlagen war dies der Fall. Sie erfüllten zum grössten Teil sogar alle vier geforderten Richtwerte, was nur mit vielen umgesetzten Energiemassnahmen machbar ist. Kläranlagen mit besonders innovativen Energieprojekten konnten sich auch für den Innovationspreis bewerben.

\* Kontakt: [mueller@infrawatt.ch](mailto:mueller@infrawatt.ch)

An die Bewerbungen für den Innovationspreis wurden drei Kriterien gestellt und danach durch eine Jury beurteilt:

#### Kriterien

- Innovation (= Neuigkeit)
- energetische Wirkung (Energieeffizienz und erneuerbare Energienutzung)
- Anwendbarkeit auf andere Kläranlage

#### Jury

- Vertreter von Planern:  
*Th. Ackermann, P. Foa, B. Kobel*
- Kantonsvertreter: *M. Eugster, SG*
- InfraWatt-Geschäftsführer: *E.A. Müller*

Nachfolgend werden die drei Gewinner des Innovationspreises und ihre Projekte konkret vorgestellt.

### ARA SEEZ IN FLUMS: STRATEGIE ZUR ENERGIEAUTARKIE

#### ENERGIEEFFIZIENZ DANK GESCHULTEM PERSONAL

In den Jahren 2012 bis 2014 wurde die ARA Seez von einer Belebtschlammanlage auf eine Wirbelbett-Hybridanlage umgestellt. Bei gleichbleibender Grösse der Kläranlage konnte so die Reinigungsleistung um rund 30% gesteigert und der Energieverbrauch sogar noch gesenkt werden. Damit waren die Betreiber aber noch nicht zufrieden: Im Jahr 2016 wurde die ganze ARA energetisch untersucht, um nochmals Schwachstellen zu ermitteln. Danach wurde die Hybridanlage nachjustiert und das Leitsystem angepasst. Zudem wurden sämtliche Mitarbeitende als Klärwerkfachleute ausgebildet und auch bezüglich Energieoptimierung im Betrieb geschult. Mit all diesen Massnahmen konnte mit der Wirbelbett-Hybridanlage im Jahre 2017 schlussendlich eine hervorragende Energiekennzahl von 7,7 kWh pro Jahr und Einwohnerwert erreicht werden, die ein Vielfaches unter dem Idealwert von 29 bis 40 kWh/a pro



Fig. 1 Die Verantwortlichen der ARA Seez in Flums haben sich die Energieautarkie zum Ziel gesetzt und mit viel Engagement von Betriebsleiter Beat Bless die konkreten Energiemassnahmen ermittelt und umgesetzt. (Foto: ARA Seez)

EW liegt. Ein grösserer Teil dieses Erfolges wurde durch die Abstimmung und Optimierung durch das Personal erreicht (Fig. 1).

#### PROJEKT ARA SEEZ 2020

Nach der Energieoptimierung der Biologie war die Stromproduktion der bisherigen Mikrogasturbine mit einem Wirkungsgrad von 22% optimierungsbedürftig. Im Rahmen einer Energiestudie vom Ingenieurbüro *Kuster & Hager* wurde das Projekt ARA Seez 2020 entwickelt. **Angestrebt wurde mit einem Paket von Energiemassnahmen eine energieautarke Kläranlage.** Die Mikrogasturbine soll nun durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einem Wirkungsgrad von 35% ersetzt werden, wodurch die Stromproduktion um über 60% ansteigt. Der bestehende Nassgasometer wird altershalber durch einen grösseren Gasspeicher ersetzt (Fig. 2). Dadurch kann auch das BHKW flexibler eingesetzt werden, also dann, wenn die geplante Solaranlage wenig Strom produziert oder wenn ein hoher Strombedarf anfällt. Damit kann die Energie-

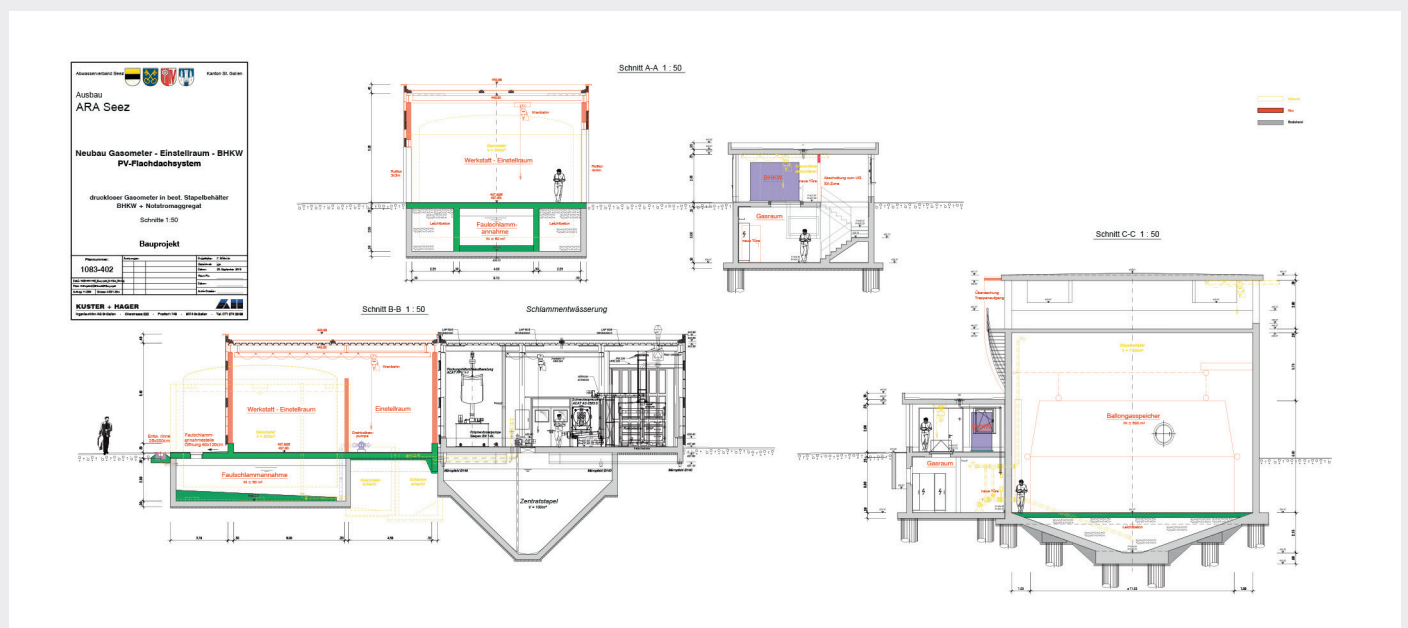


Fig. 2 Der Gasometer wurde ausgebaut, womit grössere Klärgasmengen gespeichert und das Blockheizkraftwerk gezielt in Zeiten mit hohen Tarifen bzw. bei Strombedarf eingesetzt werden kann.

(Quelle: ARA Seez)

produktion der zwei Anlagen abgestimmt und möglichst viel für den Eigenbedarf genutzt werden. Und als weitere Massnahme ist auch noch der Bau eines Solarfaltdaches über dem Belebtschlamm- und Vorklärbecken geplant. Das neue BHKW wird rund 390 000 kWh/a und die Solaranlage rund 190 000 kWh/a erneuerbaren Strom produzieren, sodass der jährliche Strombedarf von 504 000 kWh/a im Jahre 2017 zu 100% selbst abgedeckt werden kann. Mit einer weitergehenden Idee für die Zukunft will die ARA prüfen, ob überschüssiger Strom aus der Solaranlage oder dem BHKW anfällt, um den Überschussstrom mit Power-to-Gas in Wasserstoff umzuwandeln und dem Faulturn beizugeben bzw. zu speichern. Die höhere Methanausbeute soll dann in Zeiten mit zusätzlichem Strombedarf im BHKW genutzt werden.

### ERKENNTNISSE DER JURY

Die Jury hat nicht nur die Zahl und Vielfältigkeit der Einzelmassnahmen beeindruckt, sondern auch der Ansatz des gesamtheitlichen Vorgehens und das Engagement der Betriebsleitung und der Mitarbeiter auf der ARA. Am Anfang stand die Strategie mit Zielsetzung einer energieautarken Kläranlage. Vision ist sogar, dass die ARA zukünftig jederzeit bezüglich Strom, Wärme und Mobilität energieautark werden soll und nicht nur über die Jahresbilanz. Dabei wurden auf der ARA Seez nicht nur der Energieeffizienz und der Steigerung der erneuerbaren Energieproduktion, sondern auch der Ausbildung und Einbindung des Personals grosse Beachtung geschenkt. In diesem Sinne hat die Jury bei allen drei Kriterien Innovation, energetische Wirkung sowie Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen die Höchstnote vergeben. Noch mehr: Die Jury kann das Vorgehen der ARA Seez allen Kläranlagen in der Schweiz empfehlen.

### KLÄRWERK WERDHÖZLI ZÜRICH: EIGENKONZEPT PHOTOVOLTAIKPARK

#### AUSGANGSLAGE UND ZIEL

Auf dem Klärwerk Werdhölzli mit 660 000 EW wird neben Klärgas auch Biogas aus der Schlammbehandlung erzeugt. Beides

wird ins Erdgasnetz eingespeist, denn sonst könnte nur ein kleiner Teil der Abwärme aus den BHKW gebraucht werden. Stillgelegt werden die BHKW dennoch nicht, sie werden für den Lastausgleich genutzt, um Leistungsspitzen zu brechen [1]. Die Verantwortlichen von *Entsorgung + Recycling Zürich* (ERZ) wollten zudem weitere Möglichkeiten zur erneuerbaren Stromproduktion erschliessen und liessen die Nutzung der Solarenergie prüfen. Die Potenzialstudie zeigte, dass verschiedene Gebäude auf dem eigenen Areal günstige Voraussetzungen aufweisen, um Photovoltaikanlagen mit guten Wirkungsgraden installieren zu können (Fig. 3). Da der produzierte Solarstrom tagsüber anfällt und während den Hochtarifzeiten für den eigenen Strombedarf genutzt werden kann, lassen sich auch die Investitionen vernünftig amortisieren. Deshalb wurde beschlossen, schrittweise Solaranlagen auf den ausgewählten Gebäuden zu bauen.

### PHOTOVOLTAIKANLAGEN AUF DACH UND AN FASSADEN

Gestützt auf das selbst entwickelte Konzept wurde 2017 auf dem Gebäude der Elimination der Mikroverunreinigung (MV) die erste Photovoltaikanlage (PV) erstellt. Die PV auf dem Flachdach weist eine Leistung von 113 Kilowatt peak (kWp) auf und liefert jährlich rund 110 000 kWh/a eigenen erneuerbaren Strom. Pro Kilowatt peak belaufen sich die Investitionen auf rund 2150 Franken. Zudem werden an den nach Südosten und Südwesten ausgerichteten Fassaden des MV-Gebäudes PV-Anlagen montiert, die 87 kWp aufweisen und jährlich rund 60 000 kWh/a Strom erzeugen. Da die Fassaden im Gegensatz zum Dach besser einsehbar sind, wurden hohe ästhetische Anforderungen gestellt. Zudem war die Installation aufwendiger als auf dem Dach, sodass die eingesetzten PV-Module mit 4500 Fr./kWp teurer sind (Fig. 4).

### SOLARENERGIE DECKT 20% DES STROMBEDARFES

Die Photovoltaikanlagen auf dem Gebäude der Mikroverunreinigung produziert 170 000 kWh/a erneuerbaren Strom, investiert wurden rund 700 000 Franken. ERZ rechnet mit 0.20 Fr./kWh für den Strombezug im Hochtarif. Damit resultiert ein Payback von 20 Jahren, sodass die Anlage bei einer erwarteten Lebens-



Fig. 3 Eine Studie auf dem Klärwerk Werdhölzli zeigte verschiedene mögliche Standorte für Photovoltaikanlagen mit einem Potenzial von 4000 kWp auf.

(Quelle: ERZ Entsorgung + Recycling Zürich)





Fig. 4 Photovoltaikanlagen auf dem Dach und den Fassaden des Gebäudes für die Elimination der Mikroverunreinigung.

(Quelle: ERZ Entsorgung + Recycling Zürich)

dauer von 30 Jahren problemlos amortisiert werden kann. Zudem leistet die PV einen Beitrag zur Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft der Stadt Zürich. Aufgrund dieser positiven Betriebsergebnisse wurde beschlossen, das erstellte Konzept weiterzuführen und auf weiteren geeigneten Gebäuden PV-Anlagen zu bauen. Im Endausbau bis 2022 ist geplant, eine Gesamtleistung von rund 4000 kWp zu installieren. Damit können 3,5 Mio. kWh/a erneuerbarer Strom erzeugt und 20% des heutigen Strombedarfes abgedeckt werden.

#### ERKENNTNISSE DER JURY

Das Klärwerk Werdhölzli in Zürich hat seine Reinigungsverfahren ausgebaut und eine Anlage zur Elimination der Mikroverunreinigung installiert [2]. Die Verantwortlichen des ERZ haben nun systematisch untersucht, wie der Mehrstromverbrauch der MV wieder kompensiert werden kann – angesichts der bereits zahlreichen energetischen Vorkehrungen: keine leichte Aufgabe. Nach einem erfolgreichen Test beim Gebäude der Mikroverunreinigung werden auf weiteren Gebäuden PV-Anlagen installiert. ERZ konnte aufzeigen, dass damit ein Fünftel des Strombedarfes mit erneuerbarer Energie abgedeckt und die Investitionen für die PV über den Hochtarif amortisiert werden können. Dieser Ansatz und die Erfahrungen können auf vielen Kläranlagen genutzt werden, um einen weiteren beträchtlichen Beitrag zur Eigenstromdeckung zu leisten, zu-

mal entsprechende Gebäudeflächen auf den Kläranlagen vorhanden sind.

#### ARA CHUR: INFRASTRUKTUR-INTEGRIERTES SOLARKRAFTWERK

##### AUSGANGSLAGE UND ZIEL

Auf Kläranlagen sind für Solaranlagen nicht nur Flächen bei Gebäuden, sondern auch über den grossen Becken vorhanden. Auch die ARA Chur mit einer Ausbaugrösse von 130 000 Einwohnerwerten hat diese Möglichkeit ins Auge gefasst, als sie nach einer weiteren Steigerung zur Eigenstromversorgung suchte. Eine Evaluation hat gezeigt, dass diese offenen Flächen über den Becken mit ihren

6500 m<sup>2</sup> tatsächlich grosses Potenzial für Solarstrom haben, sofern dies in der Praxis machbar ist und der Zugang zu den Becken gewährleistet werden kann.

##### SOLARFALTDACH ALS LÖSUNG

Den Lösungsansatz brachte das Start-up-Unternehmen *dhp technology AG* aus Zizers, das ein Faltdach für Solarenergie entwickelt hat und es als Pilotanlage in die Praxis umsetzen wollte. Das Faltdach kann in die «Garage» eingefahren werden, um jederzeit und ohne jede Behinderung für das Personal, Fahrzeuge, Logistik und grössere Bauarbeiten an den Becken den Zugang sicherzustellen. Das Solarfaltdach besteht aus einer paten-



Fig. 5 Das Solarfaltdach über den Becken der ARA Chur kann jederzeit eingezogen werden.

(Foto: dhp technology AG)



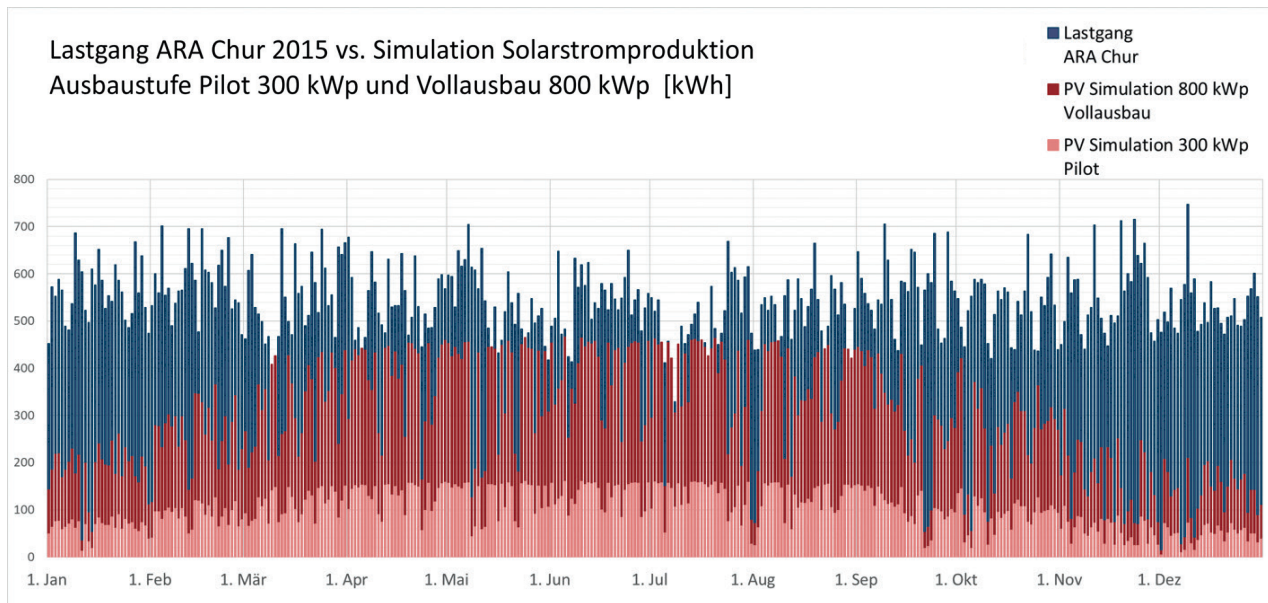


Fig. 6 Der produzierte Solarstrom kann zu 100% für den Eigenbedarf genutzt werden. Stromkosten für den Netzbezug können somit eingespart werden.

tierten Leichtbautechnologie und kann auf Tragsseilen aus- und eingefahren werden. Bei Sturm, Hagel und Schneefall wird es eingezogen, was vollautomatisch über eine Meteosteuerung gemanagt wird oder bei Bedarf von Hand durchgeführt werden kann. Vorteil ist, dass die Solarmodule im Winter schneefrei bleiben und im Sommer Schatten spenden, was allenfalls die Algenbildung sowie die Wartungskosten reduziert. Um auch die Zufahrt für Lastwagen zu ermöglichen, wird das Faltdach in ca. fünf Meter Höhe mit grossen Abständen der Stützen von 25 m auf den Beckenkronen montiert (Fig. 5).

#### FINANZIERUNG DURCH CONTRACTOR

Das Projekt wurde gemeinsam mit dem Stadtwerk, der IBC Energie Wasser Chur, entwickelt und realisiert. Die Kläranlage stellt die Flächen zur Verfügung, die IBC hat die Investitionen finanziert und betreibt die Anlage im Rahmen eines Eigenverbrauch-Contractings. Die Kläranlage trägt damit also keine finanziellen Aufwendungen und kein Risiko. Das Projekt wurde in zwei Phasen gebaut, die Pilotanlage mit 180 kWp Leistung wurde im September 2017 in Betrieb genommen, die Erweiterung auf insgesamt 640 kWp Leistung erfolgte von Februar bis Mai 2018, die Inbetriebnahme im Juni 2018.

Das Solarfaltdach verfügt im Vollausbau über eine Leistung von 640 kWp und produziert pro Jahr rund 550 000 kWh Strom. Diese Eigenstromproduktion kann gemäss Simulation zu 100% für den Eigenbedarf der Kläranlage genutzt werden (Fig. 6). Damit kann 20% des Strombedarfes der Kläranlage abgedeckt werden. Curdin Hedinger, Leiter der ARA Chur, ist denn auch von seinem Solarfaltdach sehr zufrieden. Probleme habe es auch in der Praxis noch nie gegeben, sei es bei den täglichen Arbeiten, bei Sturm, Kälte oder Hitze.

#### BEI HEUTIGEN STROMPREISEN AUF ARA WIRTSCHAFTLICH

Das System eignet sich für jede Kläranlage, die über eine Mindestfläche von ca. 1000 m<sup>2</sup> verfügt und nicht extrem beschattet ist. Das ergibt bereits eine Leistung von etwa 100 kWp und

eine Jahresproduktion von ca. 85 000 kWh. Das Bundesamt für Energie BFE hat diese erste Anlage ihrer Art in der Schweiz als Pilot- und Demonstrationsprojekt gefördert.

Die Investitionen belaufen sich auf rund 1,65 Mio. Franken. Die Gesteungskosten für den Solarstrom liegen je nach Standort und Grösse der Anlage bei rund 20 Rp./kWh (inkl. Kapitalzins und Service), sie dürften zukünftig noch sinken. Das Solarfaltdach kann also bei vielen Kläranlagen in der Schweiz Netzparität erreichen, d. h. die Sonne kann zum gleichen Preis Strom produzieren, zu welchem der lokale Energieversorger liefert.

#### ERKENNTNISSE DER JURY

Die Kläranlagen gehören in einer Gemeinde zu den grössten Stromverbrauchern, sie konsumieren vergleichsweise mehr Strom als alle kommunalen Schulen. Ziel der Energiestrategie 2050 des Bundes ist, die erneuerbare Stromproduktion deutlich zu steigern, wobei vor allem die Solaranlagen im Vordergrund stehen. Gesucht sind dabei Standorte, die weder grüne Flächen verbauen noch das Landschaftsbild beeinträchtigen. Kläranlagen liegen meistens etwas abseits der Siedlungen und verfügen mit den Klärbecken über enorme, bereits überbaute Flächen, sodass sie günstige Standorte für Solarfaltdächer bieten. Zudem kann mit dem Faltdach auch das Problem des gesicherten Zugangs zu den Becken gelöst werden. In Chur wurde nun eine solche Anlage erstmals weltweit erstellt, die gemachten Betriebserfahrungen sind erfreulich. Interessant ist auch das Finanzierungsmodell der Anlage in Chur, dort treten die Stadtwerke, also die IBC Energie Wasser Chur, als Contractor auf und haben die Investitionen übernommen. Es lohnt sich für Kläranlagen also, die Nutzung der Solarenergie zu prüfen.

#### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Kläranlagen verbrauchen sehr viel Energie, damit sie ihre Reinigungsaufgaben wahrnehmen können. Mit zunehmenden Anforderungen an den Gewässerschutz oder konkret mit der

Elimination der Mikroverunreinigung wird der Energieverbrauch der ARA nochmals deutlich ansteigen und das Thema Energie an Bedeutung zunehmen. Umso wichtiger sind die Entwicklungen und Erfahrungen der ARA-Betreiber, die den Innovationspreis der Médaille d'eau 2018 erhielten. Sie zeigen, dass der Mehrverbrauch für die Mikroverunreinigung bereits alleine mit Solarenergie kompensiert werden kann und dass die unterschiedlichen Technologien mit Photovoltaik an Gebäuden oder einem Solarfaltdach an den meisten ARA in der Schweiz ebenfalls realisiert werden könnten. Die ARA Seez demonstriert zudem, wie man mit einer gesamtheitlichen Strategie Energiepotenziale in den verschiedensten Bereichen einer ARA findet und durch deren Umsetzung Energieautarkie erreicht.

Dabei muss es aber nicht bleiben, denn das grösste Energiepotenzial einer Kläranlage steckt im Wärmehalt des Abwassers. Die Betreiber der ARA Chur werfen nicht nur einen Blick auf die Sonne, sondern auch über den Zaun ihrer ARA. In Zusammenarbeit mit den Stadtwerken IBC als Partner wollen sie die enormen Energiemengen im Abwasser zur Beheizung von umliegenden Gebäuden nutzen. In solchen Fällen können die neuen Fördermöglichkeiten für Wärmeverbünde mit Abwasserwärme und anderen einheimischen Energiequellen von der Stiftung Klimaschutz und CO<sub>2</sub>-Kompensation KliK die Wirtschaftlich-

keit deutlich verbessern. Für ARA-Betreiber Anreiz genug zu prüfen, ob in der Umgebung grössere Überbauungen liegen oder erstellt werden, welche die Wärme aus dem Abwasser nutzen könnten [3].

#### WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

[www.waermeverbuende.klik.ch/index.html?id=1&lang=de](http://www.waermeverbuende.klik.ch/index.html?id=1&lang=de)

#### BERATUNG UND KOSTENLOSE VORABKLÄRUNG

[info@infrawatt.ch](mailto:info@infrawatt.ch)

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hurni, A.; Osswald, R.; Moser, R. (2018): Leitfaden «Energie in ARA», Kapitel «Lastverschiebung». Im Auftrag InfraWatt mit Unterstützung vom Bundesamt für Energie
- [2] Büeler, A. et al. (2018): Leitfaden «Energie in ARA», Kapitel «Energieeffizienz in MV-Anlagen». Mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie, BFE. Download: [www.infrawatt.ch/sites/default/files/2018\\_01\\_17\\_Energie%20in%20ARA\\_Kap.%20Mikroverunreinigungen.PDF](http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2018_01_17_Energie%20in%20ARA_Kap.%20Mikroverunreinigungen.PDF)
- [3] Müller, E.A.; Vogelsanger, M. (2018): Abwasserwärme für eine ganze Region, Aqua & Gas, Nr. 9



**VLT® AutomationDrive FC 301/302**  
**Vielseitig, zuverlässig und durchwegs beeindruckend**

Ausgewählt für seine Vielseitigkeit, respektiert für seine Zuverlässigkeit – der VLT® AutomationDrive ist jetzt robuster und intelligenter als jemals zuvor. Mit über einem halben Jahrhundert Erfahrung in elektrischer Antriebstechnik, und auf Langlebigkeit ausgelegt, betreibt dieser Antrieb intelligent und effizient die anspruchsvollsten Anwendungen in den herausforderndsten Umgebungen.

Besuchen Sie uns auf der SPS IPC Drives 2018 in Halle 3A, Stand 430

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.drives.de.danfoss.ch](http://www.drives.de.danfoss.ch)

**Danfoss AG • Danfoss Drives**  
 Tel. +41 61 510 00 19, E-mail: [cs@danfoss.ch](mailto:cs@danfoss.ch)

**VLT®**

ENGINEERING TOMORROW 

DD001A 310A103-A