



Interim report from 18 May 2026

SorpStor

Sorption Storage Heat Pump Demonstrator



Image of the Sorption Storage Heat Pump installed in Frauenfeld. On the right is the heat and mass exchanger, while the sorbent storage is on the left. The two components are connected by stainless steel pipes, valves, and pumps. Source: HSLU, 2024.



HSLU Lucerne University
of Applied Sciences
and Arts

Publisher:

Swiss Federal Office of Energy SFOE
Energy Research and Cleantech
CH-3003 Berne
www.energy-research.ch

Subsidy recipients:

HSLU - T&A
Technikumstrasse 21
6048 Horw
www.hslu.ch

Matica
Schanzengasse 10
8001 Zürich
www.matica.ch

Novus Engineering
Ulmenstrasse 76
8500 Frauenfeld
www.novus-engineering.ch

Autors:

Benjamin Fumey, HSLU, Benjamin.fumey@hslu.ch

SFOE project coordinators:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch

SFOE contract number: SI/502688-01

The authors bear the entire responsibility for the content of this report and for the conclusions drawn therefrom.



Summary

Switzerland's energy system is largely based on stored energy resources, including fossil fuels, nuclear power, and hydropower. As these are increasingly replaced by wind and solar energy, new methods of energy storage across multiple time scales become essential. This work addresses seasonal energy storage through electric and thermal sector coupling in buildings. The Swiss building sector is highly energy intensive, consuming approximately 200,000 TJ/a (22% of total national energy demand) for heating purposes.

For space heating and domestic hot water, three technology pathways are commonly studied: sensible, latent, and sorption (thermochemical) storage. This work focuses on the latter. The investigated system is a sorption storage heat pump consisting of a heat and mass exchanger together with storage tanks, operating with the working pair aqueous sodium hydroxide and water. During summer, heat or electricity is used to separate water from the solution through evaporation, after which the components are stored separately as nearly lossless chemical potential. In winter, the stored media are recombined to operate a sorption heat pump: water is evaporated at low temperature and absorbed into the sodium hydroxide solution, thereby releasing heat at an elevated temperature suitable for building heating.

This demonstrator project, representing the first installation of a sorption storage heat pump integrated into a building heating system, builds upon research conducted at Empa and HSLU and funded by the SFOE, Innosuisse, and the EU Horizon programme.

The installation is being carried out at a small industrial facility in the city of Frauenfeld. The system consists of a 5 kW_{th} heat and mass exchanger and storage tanks containing the working fluid, designed to provide approximately 750 kWh_{th} of usable heat capacity. Initial operation of the system was only partially successful due to the early-stage nature of the technology. During the project period, the heat and mass exchanger was replaced with an upgraded version in the first quarter of 2026. Further testing and operational monitoring will continue until the end of winter 2027.



Zusammenfassung

Das Energiesystem der Schweiz stützt sich weitgehend auf gespeicherte Energieressourcen, darunter fossile Brennstoffe, Kernenergie und Wasserkraft. Da diese zunehmend durch Wind- und Sonnenenergie ersetzt werden, sind neue Methoden der Energiespeicherung über verschiedene Zeitskalen hinweg unerlässlich. Diese Arbeit befasst sich mit der saisonalen Energiespeicherung durch die Kopplung des Strom- und Wärmesektors in Gebäuden. Der Schweizer Gebäudesektor ist sehr energieintensiv und verbraucht etwa 200'000 TJ/a (22 % des gesamten nationalen Energiebedarfs) für Heizzwecke.

Für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung werden üblicherweise drei technologische Ansätze untersucht: sensible, latente und sorptive (thermochemische) Speicherung. Diese Arbeit konzentriert sich auf den letztgenannten Ansatz. Das untersuchte System ist eine Sorptionswärmepumpe, die aus einem Wärme- und Stoffaustauscher sowie Speichertanks besteht und mit dem Arbeitsmittelpaar Natriumhydroxidlösung und Wasser betrieben wird. Im Sommer wird Wärme oder Strom genutzt, um durch Verdampfung Wasser aus der Lösung abzutrennen; anschließend werden die Komponenten getrennt als nahezu verlustfreies chemisches Potenzial gespeichert. Im Winter werden die gespeicherten Medien wieder zusammengeführt, um eine Sorptionswärmepumpe zu betreiben: Wasser wird bei niedriger Temperatur verdampft und in die Natriumhydroxidlösung absorbiert, wodurch Wärme bei einer erhöhten Temperatur freigesetzt wird, die für die Gebäudeheizung geeignet ist.

Dieses Demonstrationsprojekt, bei dem es sich um die erste Installation einer in ein Gebäudeheizungssystem integrierten Sorptionswärmepumpe handelt, baut auf Forschungsarbeiten der Empa und der HSLU auf, die vom BFE, von Innosuisse und vom EU-Programm „Horizont“ finanziert wurden.

Die Installation erfolgt in einer kleinen Industrieanlage in der Stadt Frauenfeld. Das System besteht aus einem 5-kW_{th}-Wärme- und Stoffaustauscher sowie Speichertanks, die die Arbeitsflüssigkeit enthalten und für eine nutzbare Wärmekapazität von ca. 750 kW_{th} ausgelegt sind. Der erste Betrieb des Systems war aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Technologie nur teilweise erfolgreich. Im Laufe des Projektzeitraums wurde der Wärme- und Stoffaustauscher im ersten Quartal 2026 durch eine verbesserte Version ersetzt. Weitere Tests und die Betriebsüberwachung werden bis zum Ende des Winters 2027 fortgesetzt.



Résumé

Le système énergétique suisse repose en grande partie sur des ressources énergétiques stockées, notamment les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et l'énergie hydraulique. À mesure que celles-ci sont progressivement remplacées par l'énergie éolienne et solaire, il devient indispensable de mettre en place de nouvelles méthodes de stockage de l'énergie à différentes échelles de temps. Ce travail porte sur le stockage saisonnier de l'énergie grâce au couplage des secteurs électrique et thermique dans les bâtiments. Le secteur du bâtiment en Suisse est très énergivore, consommant environ 200 000 TJ/an (22 % de la demande énergétique nationale totale) pour le chauffage.

Pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire, trois voies technologiques sont couramment étudiées : le stockage sensible, le stockage latent et le stockage par sorption (thermochimique). Ce travail se concentre sur cette dernière. Le système étudié est une pompe à chaleur à stockage par sorption composée d'un échangeur de chaleur et de masse ainsi que de réservoirs de stockage, fonctionnant avec le couple de travail hydroxyde de sodium aqueux et eau. En été, de la chaleur ou de l'électricité est utilisée pour séparer l'eau de la solution par évaporation, après quoi les composants sont stockés séparément sous forme de potentiel chimique pratiquement sans perte. En hiver, les fluides stockés sont recombinaés pour faire fonctionner une pompe à chaleur à sorption : l'eau est évaporée à basse température et absorbée dans la solution d'hydroxyde de sodium, libérant ainsi de la chaleur à une température élevée adaptée au chauffage des bâtiments.

Ce projet de démonstration, qui constitue la première installation d'une pompe à chaleur à accumulation par sorption intégrée à un système de chauffage de bâtiment, s'appuie sur des travaux de recherche menés à l'Empa et à la HSLU et financés par l'OFEN, Innosuisse et le programme Horizon de l'UE.

L'installation est réalisée dans une petite usine industrielle de la ville de Frauenfeld. Le système se compose d'un échangeur de chaleur et de masse de 5 kWth et de réservoirs de stockage contenant le fluide de travail, conçus pour fournir environ 750 kWth de capacité thermique utile. La mise en service initiale du système n'a été qu'un succès partiel en raison du caractère précoce de la technologie. Au cours de la période du projet, l'échangeur de chaleur et de masse a été remplacé par une version améliorée au premier trimestre 2026. Les essais et la surveillance opérationnelle se poursuivront jusqu'à la fin de l'hiver 2027.



Contents

Summary	3
Zusammenfassung.....	4
Résumé.....	5
Contents	6
1 Introduction.....	7
1.1 Context and motivation	7
1.2 Project objectives	11
2 Approach and Method.....	12
2.1 WP1: Design and Automation	14
2.2 WP2: Construction and Installation	18
2.3 WP3: Operation and Monitoring	21
2.4 WP4: Dissemination	22
3 Results.....	22
3.1 WP1: Design and Automation	22
3.2 WP2: Construction and Installation	24
3.3 WP3: Operation and Monitoring	25
3.4 Further HMX-2 Development.....	26
3.5 WP4: Dissemination and Commercial Activities.....	29
3.6 WP5: Management.....	29
4 Discussion.....	30
5 Conclusions and outlook.....	31
6 Appendix	32



1 Introduction

1.1 Context and motivation

Switzerland's energy system currently relies heavily on stored primary energy resources, including fossil fuels, nuclear fuels, and hydropower. As fossil and nuclear generation are progressively replaced by renewable electricity from photovoltaic and wind systems in the transition towards net-zero CO₂ emissions by 2050, additional energy storage capacity across multiple timescales becomes increasingly important to balance temporal mismatches between energy supply and demand. Storage technologies include electrochemical systems (e.g. batteries), chemical storage (e.g. hydrogen), pumped hydro storage, and thermal energy storage.

The required storage technology strongly depends on the storage duration and application. Short-term storage systems typically operate with high cycling frequencies and therefore achieve high energy turnover, which reduces the capital cost per unit of stored energy. Seasonal storage, in contrast, is characterised by long storage durations and low cycling frequencies, resulting in comparatively low energy turnover and therefore requiring low-cost storage materials and infrastructure to become economically viable.

In Switzerland, seasonal storage is particularly relevant due to the growing discrepancy between summer renewable electricity generation and winter energy demand. Increasing photovoltaic electricity production leads to summer electricity surpluses, while space heating and domestic hot water preparation create high thermal energy demand during winter. At the same time, households account for approximately 30% of total Swiss final energy consumption, with around 80% thereof associated with heating purposes. Seasonal thermal energy storage therefore represents a promising pathway to reduce winter electricity demand, increase renewable energy utilisation, and support grid stability.

Three principal thermal storage technologies are commonly distinguished: sensible, latent, and thermochemical storage. Sensible thermal storage systems, such as water tanks, store energy through temperature increase and are technologically mature and cost effective, but suffer from comparatively low energy density and thermal losses during long storage durations. Latent heat storage systems utilise phase change materials (PCM) and offer improved energy density and nearly constant storage temperatures during charging and discharging. However, latent storage technologies continue to face challenges related to material costs, low thermal conductivity, phase separation, long-term material stability, and economic competitiveness at seasonal storage timescales.

Thermochemical storage systems store energy in the form of chemical potential through reversible physical or chemical processes. In contrast to sensible and latent systems, thermochemical storage enables practically lossless long-term storage and potentially substantially higher energy densities. Among thermochemical technologies, sorption storage systems are regarded as particularly promising for compact seasonal heat storage. Sorption processes can be divided into adsorption and absorption, corresponding respectively to solid and liquid sorbent systems.

This work focuses on liquid absorption storage using aqueous sodium hydroxide (NaOH) and water as working pair. Liquid absorption systems offer several advantages compared to solid sorption systems. Since the sorbent is liquid, it can be hydraulically transported and stored separately from the heat and mass exchanger. This enables a decoupling of storage capacity and thermal power, allowing flexible system scaling and potentially lower storage-specific investment costs. Furthermore, liquid systems simplify charging and discharging operation as well as integration into building heating systems.

The investigated technology is a sorption storage heat pump (SSHP) operating with aqueous sodium hydroxide as sorbent and water as sorbate. During charging, heat or electricity is used to evaporate water from the diluted sodium hydroxide solution. The separated water and concentrated sorbent are subsequently stored independently as chemical potential. During discharging, water is evaporated at low temperature and absorbed into the concentrated sodium hydroxide solution, releasing heat at elevated temperature suitable for space heating and domestic hot water production.



Thermochemical heat storage has been investigated internationally for more than three decades, both for solid adsorption and liquid absorption systems. Numerous research activities have been conducted within IEA SHC and Energy Storage Tasks as well as European research projects addressing compact and seasonal thermal energy storage technologies. Nevertheless, no commercially established seasonal sorption heat storage systems are currently available on the market. The principal challenges remain:

- efficient and scalable heat and mass exchanger design,
- reliable heat and mass transfer,
- material compatibility and corrosion resistance,
- system integration and control,
- operational stability under dynamic conditions,
- and overall economic viability.

One of the fundamental challenges for seasonal thermal storage technologies is the low number of annual charge and discharge cycles, resulting in low energy turnover and therefore requiring very low-cost storage materials and infrastructure to achieve competitive economics.

Research on aqueous sodium hydroxide-based sorption storage systems has been conducted in Switzerland for more than twenty years. Previous publicly funded projects at HSLU and Empa advanced the technology from material-scale investigations to laboratory-scale system demonstrations. In the SFOE-funded project “Development of a long-term thermal energy storage” (SI/501605-01), a laboratory demonstrator with approximately 4 kW thermal power and an energy density of up to 200 kWh/m³ was successfully developed and operated under controlled conditions. The system utilised approximately 1200 kg of aqueous sodium hydroxide as sorbent and demonstrated stable cyclic operation under defined laboratory conditions.

The main technological challenge identified during these developments was the design of efficient and scalable heat and mass exchangers. In sorption storage systems, equal distribution of working fluids and efficient coupled heat and vapor transport are essential for achieving high thermal power, energy density, and operational stability. The present project specifically addresses these challenges through the development of a scalable tubular heat and mass exchanger design with fully automated operation.

The SorpStor project therefore represents the next development step towards marketable seasonal sorption storage technology. The project addresses the first field demonstration of a fully automated liquid sorption storage heat pump integrated into a real building heating system. The system is charged using excess photovoltaic electricity via a heat pump and provides thermal energy for space heating and domestic hot water during winter operation.

A key innovative aspect of the presented NaOH-based concept is the combination of:

- low-cost and industrially available sorption materials,
- practically lossless long-term thermal storage,
- decoupled scaling of storage capacity and thermal power,
- flexible temperature and power regulation through sorbent flow control,
- and integration into existing building heating systems with conventional heat pumps.

Through these aspects, the project aims to address the major barriers currently limiting seasonal thermal energy storage technologies, particularly regarding efficiency, operational reliability, scalability, and economic feasibility.

The work further aims to generate practical experience regarding automated operation, temperature regulation, hydraulic integration, and real-world seasonal performance of liquid sorption storage



systems. In addition to technical development, the project also contributes to public awareness and stakeholder acceptance of compact seasonal thermal energy storage technologies.

The project contributes to international research activities on compact and seasonal thermal energy storage, including work performed within IEA SHC and ES Tasks as well as several European research projects addressing thermochemical energy storage technologies. Example of previous and ongoing international work are:

The IEA Tasks are:

- SHC Task 42 / ECES Annex 24: Compact Thermal Energy Storage
- SHC Task 58 / ECES Annex 33: Material and Component Development for Thermal Energy Storage
- SHC Task 67 / ES Task 40: Compact Thermal Energy Storage; Materials within components within systems
- SHC Task 74 / ES Task 48: Components for Thermal Energy Storage
- SHC Task 75 / ES Task 49: Thermal Energy Storage Materials

A selection of EU funded projects addressing seasonal thermal energy storage are:

- HYBUILD Innovative compact HYbrid electrical/thermal storage systems for low energy BUILDings
- CREATE Compact RETrofit Advanced Thermal Energy storage
- SWS-HEATING Development and Validation of an Innovative Solar Compact Selective-Water-Sorbent-Based Heating System
- SAM.SSA Sugar Alcohol based Materials for Seasonal Storage Applications
- ECHO EFFICIENT COMPACT MODULAR THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM
- COMTES Combined development of compact thermal energy storage technologies
- EINSTEIN EFFECTIVE INTEGRATION OF SEASONAL THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS IN EXISTING BUILDINGS
- MERITS More Effective use of Renewables Including compact seasonal Thermal energy Storage

This work builds upon previously publicly funded research projects that advanced the technology from material-scale investigations to a laboratory-scale sorption storage demonstrator with approximately 4 kW thermal power and an energy density of up to 200 kWh/m³, shown in Figure 1. Previous funding was provided by the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) through the projects *NaOH-Speicher für saisonale Wärmespeicherung* (102017, 101803) and *Development of a long-term thermal energy storage* (SI/501605-01), as well as by the European Union through the project *COMTES – Combined Development of Compact Thermal Energy Storage Technologies*.

Figure 1 shows a picture of the system developed in the SFOE project SI/501605-01. On the left, the two absorbent tanks are visible and in the centre is the heat and mass exchanger chamber. Power and energy density were measured at defined operating temperatures. For absorption, the absorber heat transfer input temperature was 30°C (25°C) and the output temperature was 35°C (30°C), and the evaporator input temperatures were tested from 20°C down to 4°C in 2K steps, with the output temperature 3K lower than the input. For desorption, the condenser inlet temperature was 30°C (20°C) and the outlet temperature was 5K higher, with desorber inlet temperatures varying from 49K to 55K higher than the condenser inlet temperature. Absorbent mass flow was taken at 2, 4 and 6 g/min per tube, see figure 2 for testing results. Two pallet sized tanks were installed to contain the absorbent in charged and discharged state, and 6 complete cycles were performed with 1200 kg of aqueous NaOH at 50 wt% concentration. Under all testing conditions, steady state operation was reached.

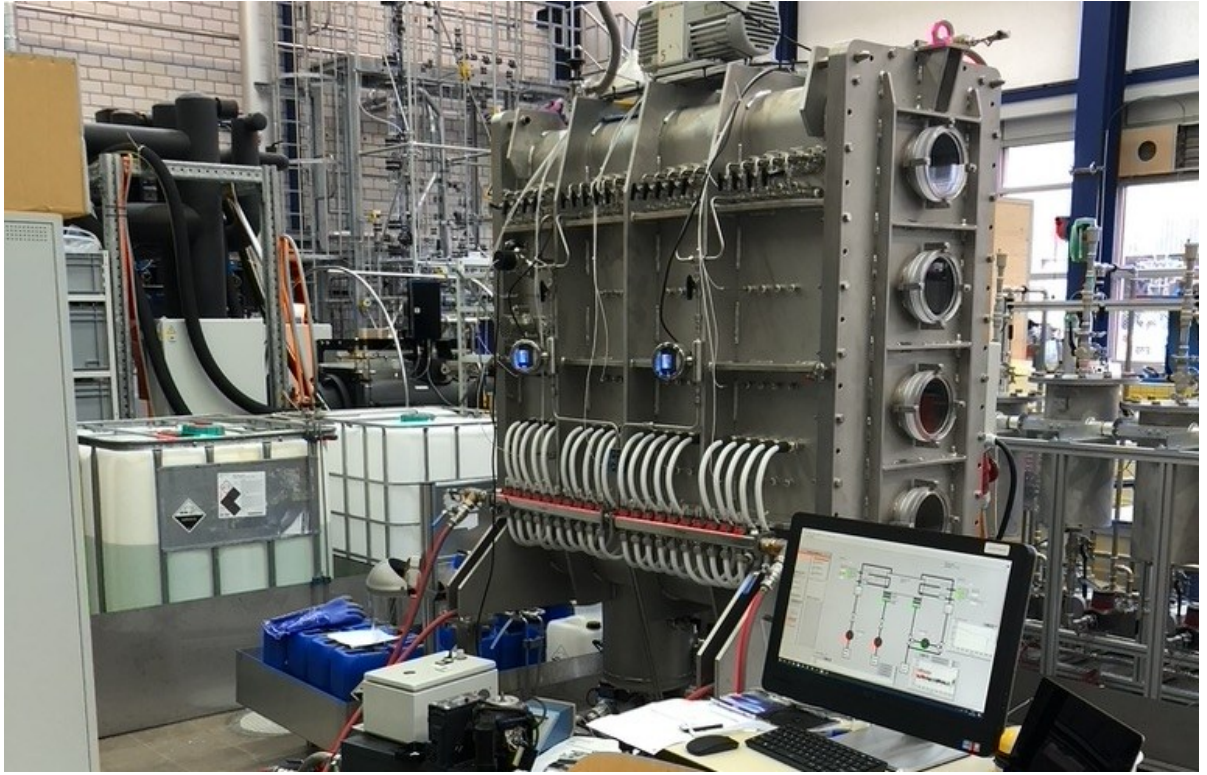


Figure 1: Photograph of the laboratory-scale sorption storage heat pump system developed within the SFOE-funded project “Development of a long-term thermal energy storage” (SI/501605-01) at HSLU. The system consists of a heat and mass exchanger chamber located in the centre-right and two absorbent storage tanks positioned on the left for charged and discharged aqueous NaOH. The system operated with approximately 1200 kg of aqueous sodium hydroxide at 50 wt% concentration, and six complete charge and discharge cycles were performed under steady-state laboratory conditions. Absorbent mass flow rates of 2, 4, and 6 g/min per tube were investigated.

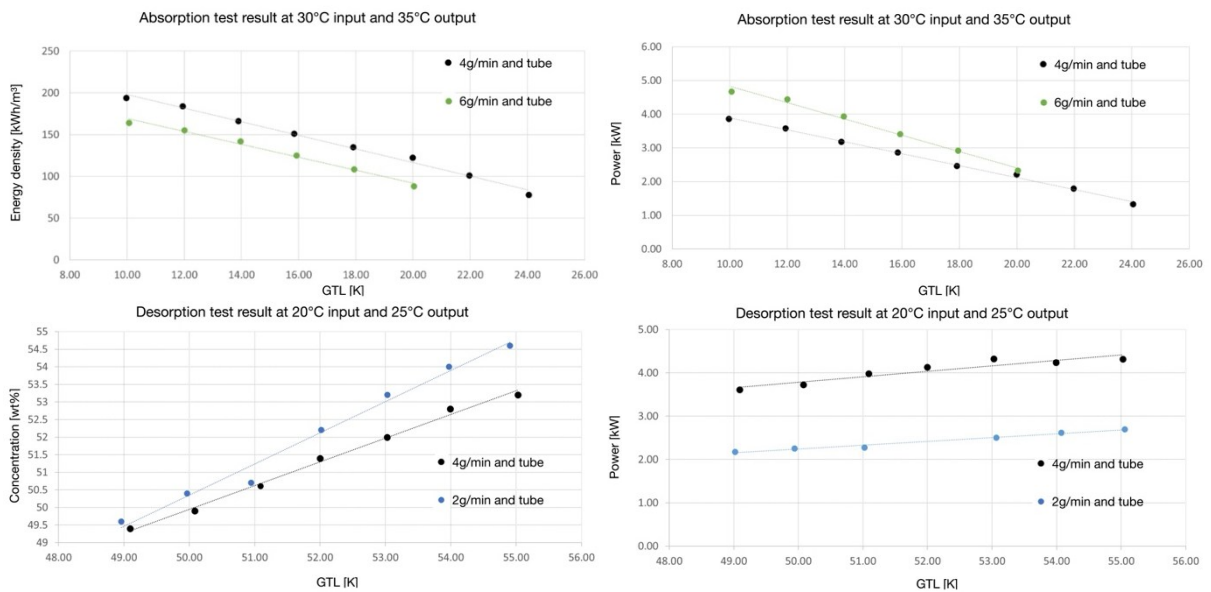


Figure 2: Experimental results obtained with the laboratory-scale sorption storage heat pump system shown in Figure 1. Results are presented for absorption (top) and desorption (bottom) operation as energy density versus gross temperature lift (GTL) (left) and thermal power versus GTL (right). GTL



refers to the temperature difference between the absorber (desorber) inlet temperature and the evaporator (condenser) inlet temperature of the heat transfer fluid (water). During absorption operation, absorber inlet temperatures of 30 °C (25 °C) and outlet temperatures of 35 °C (30 °C) were investigated, while evaporator inlet temperatures ranged from 20 °C to 4 °C in 2 K steps, with outlet temperatures 3 K lower than the inlet. During desorption operation, condenser inlet temperatures of 30 °C (20 °C) with outlet temperatures 5 K higher than the inlet were investigated, while desorber inlet temperatures ranged from 49 K to 55 K above the condenser inlet temperature. All measurements were conducted under steady-state conditions.

1.2 Project objectives

The objective of this project is to further develop and demonstrate a sorption storage heat pump (SSHP) system for seasonal thermal energy storage under real building operating conditions. The project aims to advance the technological maturity of the system, validate automated operation in a field installation, and generate practical experience regarding system integration, operational performance, and stakeholder acceptance.

The project includes the development and construction of a 5 kW_{th} SSHP demonstrator with an improved heat and mass exchanger design. In addition, a fully automated stand-alone control system is implemented, including sensors, actuators, safety systems, and operational logic required for reliable and safe unmanned operation. The demonstrator is integrated into a real building heating system to enable charging and discharging operation under practical field conditions.

A further objective of the project is the acquisition of first field-performance data regarding temperature lift, thermal power, energy density, operational stability, electric load shifting, and reduction of winter electricity demand. The work additionally aims to provide a first assessment of the system's potential for energetic self-sufficiency and economic viability.

The project addresses several key technological and operational challenges associated with seasonal thermochemical heat storage. These include the advancement of scalable SSHP design, the development of reliable automation and control strategies, and the physical, hydraulic, electrical, and logical integration of the system into existing building heating infrastructure. Furthermore, the project investigates the coupled operation of the SSHP with a conventional heat pump during charging and discharging processes. In parallel to the technical development, dissemination activities are conducted to improve public awareness, communication, and stakeholder acceptance of seasonal thermal energy storage technologies.

The project targets a heating supply temperature of 35 °C for space heating and 65 °C for domestic hot water preparation, corresponding to a temperature lift of approximately 20 K. The demonstrator is designed for a heating and charging capacity of 5 kW_{th} and a volumetric energy density of at least 150 kWh/m³. In terms of efficiency, the project aims for a thermal storage efficiency of 80% from charging to discharging operation and an overall electrical system efficiency of 50%, defined as the ratio between electrical charging energy input via the heat pump and avoided electrical heating demand during discharging operation.

From an economic perspective, the work investigates the potential for achieving a total cost of ownership in the range of CHF 0.20/kWh storage capacity and evaluates the possibility of long-term operational electricity cost savings of up to 30% compared to conventional heat pump systems under favourable operating conditions.

Finally, the project includes benchmarking of the developed SSHP technology against alternative seasonal energy storage solutions, including hydrogen-based storage systems and conventional heat pump technologies, with respect to energy efficiency, CO₂ reduction potential, operational flexibility, and economic feasibility.



2 Approach and Method

The project aims to develop and field-test a fully integrated SSHP demonstrator system enabling seasonal heat transfer from summer to winter within an operational building environment. Building upon a previously laboratory-validated proof of concept (Figure 1), the project focuses on key system improvements including simplification of the heat and mass exchanger design, reduction of material usage, and implementation of enhanced automation to enable reliable and safe unattended operation.

The work comprises research, development, construction, installation, and operation of the demonstrator system together with accompanying dissemination and stakeholder engagement activities. The project is structured into five work packages. WP1 addresses system design and automation development, while WP2 focuses on construction and installation of the demonstrator. WP3 includes laboratory testing, field commissioning, and seasonal operation under real operating conditions to assess system performance and operational stability. WP4 addresses dissemination, communication, and stakeholder engagement activities. WP5 covers project management, coordination, and progress monitoring.

The SSHP system consists of two principal subsystems:

- the heat and mass exchanger (HMX), serving as the thermal power unit,
- and the storage tanks, serving as the energy storage unit by containing the working fluids in charged and discharged state.

The HMX constitutes the primary development focus of the project. It consists of two tube bundles operating respectively as absorber/desorber and evaporator/condenser depending on operating mode. Heat transfer fluid (HTF) circulates through the tubes to provide or remove thermal energy during charging and discharging processes. One of the principal technical challenges is the uniform distribution of both the working fluids (aqueous sodium hydroxide) on the tube bundle and the HTF (water) throughout the tube bundle, which is essential for stable heat and mass transfer and therefore for system performance.

The charging process can be driven either by solar or waste heat, or alternatively by a conventional heat pump. In the latter case, the condenser side of the SSHP can simultaneously serve as a heat source for the compression heat pump, enabling integrated operation between the two systems. During discharging, low-temperature heat is sourced from an air or ground heat exchanger.

The operational principle of the system is based on the thermodynamic equilibrium between concentration, temperature, and vapour pressure of aqueous sodium hydroxide. To avoid solidification at ambient conditions, the maximum operating concentration was limited to approximately 50 wt% sodium hydroxide. Under these conditions, the system is designed to achieve temperature lifts in the range of approximately 20–30 K during discharging operation the theoretical limit is 38K.

The general operation principle is as follows. During the charging process, diluted aqueous sodium hydroxide is heated on the desorber side by high-temperature heat supplied through the HTF circuit, causing water to evaporate from the solution. The generated water vapour condenses on the second tube bundle operating as condenser, releasing condensation heat to the second HTF, releasing to the ambient. This process produces concentrated aqueous sodium hydroxide and liquid water as separate outputs, which are subsequently stored independently. Charging can either be performed using solar or waste heat or alternatively by integration with a conventional heat pump. In the latter case, the condenser side of the SSHP can simultaneously serve as a heat source for the compression heat pump, enabling coupled operation of the two systems.

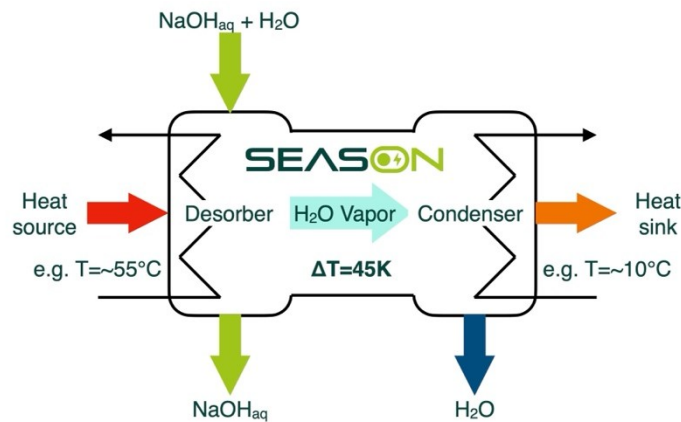


Figure 3: Illustration of the SSHP charging process. Heat is used to evaporate water from aqueous NaOH. The water vapour condenses on the condenser, and both concentrated aqueous NaOH and H₂O are stored separately. The process is referred to as temperature swing.

During the heating (discharging) process, the separated water is evaporated at low temperature by distribution over the evaporator tube bundle and heating through low-temperature HTF. The system operates under reduced-pressure water vapour conditions to promote evaporation, non condensing gasses such as air are removed. On the absorber side, concentrated aqueous sodium hydroxide is distributed over the tube bundle, where the water vapour is absorbed. The absorption process releases both the latent heat of condensation and the heat of dilution resulting from the mixing of water with sodium hydroxide. Due to the strong hygroscopic properties of sodium hydroxide, the vapour pressure at the solution surface is reduced, enabling extensive vapour absorption and thereby generating a temperature increase that drives the absorption-based heat pump process.

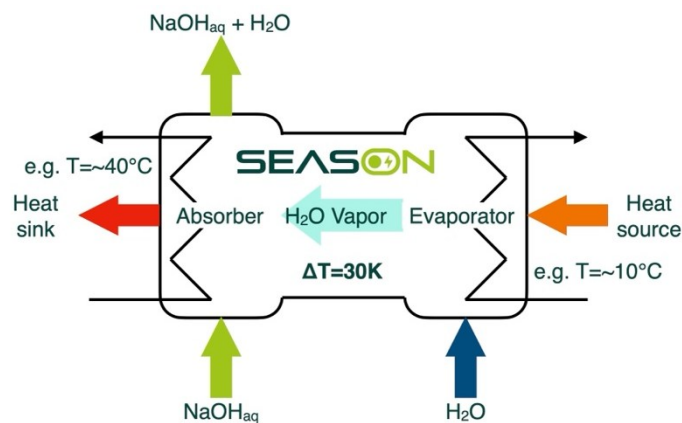


Figure 4: Illustration of the SSHP heating process. Low-temperature heat is sourced from the ambient to evaporate water, which is subsequently absorbed by concentrated aqueous NaOH. During absorption, the heat of condensation and dilution is released, increasing the output temperature.

The development strategy within the project follows an iterative approach. An initial demonstrator version, referred to as HMX-1, was designed, constructed, installed, and tested under laboratory and field conditions. Based on the operational experience and identified shortcomings of this first-generation system, a substantially improved second-generation design, HMX-2, was subsequently developed and implemented.



2.1 WP1: Design and Automation

The SSHP design is based on the previously developed laboratory-scale demonstrator shown in Figure 1. In contrast to the earlier rectangular vessel geometry, the present system employs two interconnected cylindrical vessels. This configuration was selected due to the sub-atmospheric operating pressure within the heat and mass exchanger (HMX), which would otherwise require substantial structural reinforcement in a rectangular design. One of the critical considerations in the vessel design is the high volumetric vapor transport within the system, reaching up to approximately 400 l/s under operating conditions. This means that the interconnecting tube diameter needs to be adequate, to prevent pressure drop.

Compared to the earlier small-scale system, which utilized a single tube for absorption/desorption and evaporation/condensation respectively, the demonstrator system consists of 123 tubes per bundle. Consequently, uniform parallel distribution of the working fluids and the heat transfer fluid (HTF) became a central design challenge. Computational fluid dynamic simulations were therefore conducted to dimension the manifold geometry and optimize pressure losses and flow distribution for aqueous sodium hydroxide and water under charging and discharging conditions. The corresponding simulation results are shown in Figure 5.

The tube bundles were further designed to enable parallel distribution and collection of the HTF through all tubes. The resulting tube bundle and manifold assemblies were integrated into the cylindrical vessel configuration shown in Figure 6 and Figure 7.

The HMX comprises four principal fluid circuits: two internal working-fluid circuits for aqueous sodium hydroxide and water, and two external HTF circuits assigned respectively to the absorber/desorber and evaporator/condenser sections. The complete hydraulic and instrumentation concept is shown in the piping and instrumentation diagram (P&ID) in Figure 8.

The automation system is based on a programmable logic controller (PLC) architecture and includes operational control, alarm handling, safety logic, and communication with external components such as the building heat pump. A comprehensive operational description including operating states, control logic, and safety procedures was developed and is included in the appendix.

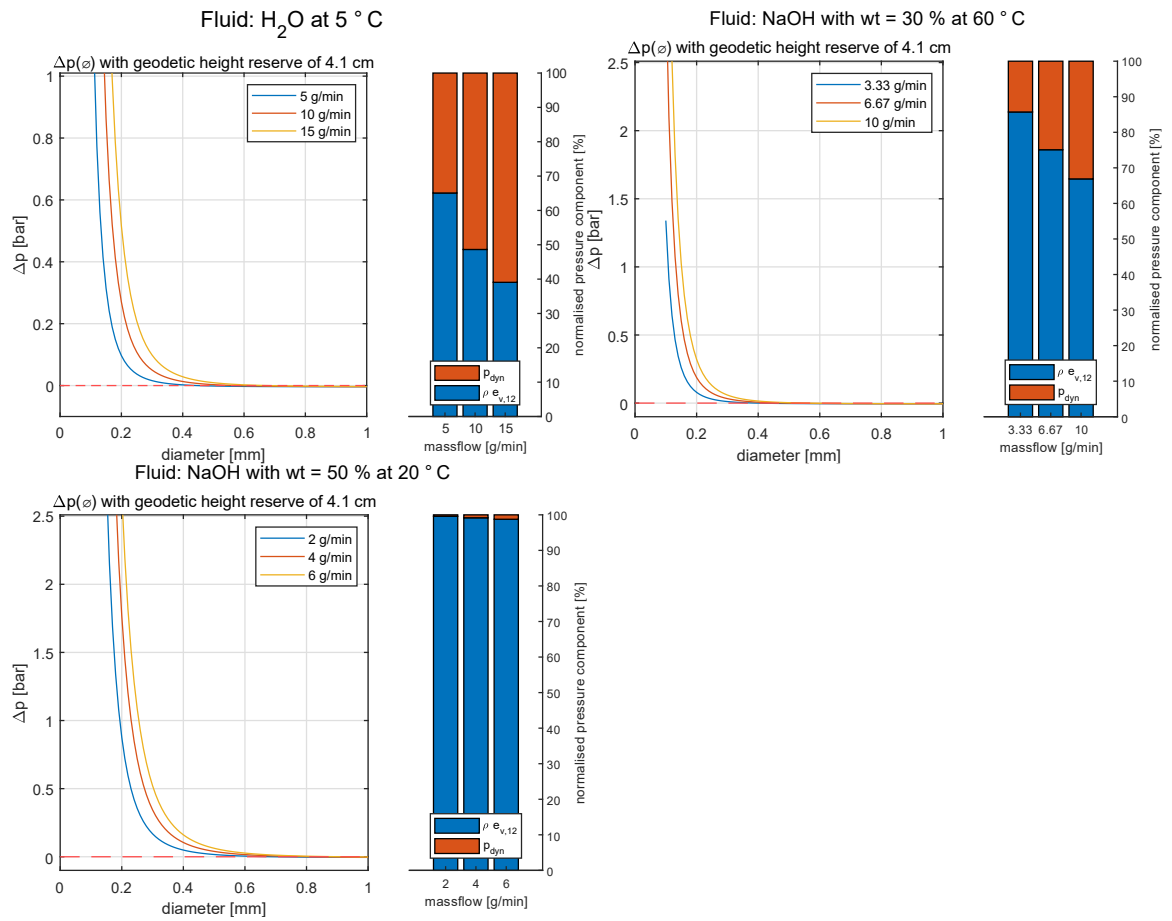


Figure 5: Simulation results used for manifold dimensioning and fluid distribution optimisation. The figures show the calculated pressure drop as a function of hole diameter and flow rate for water and diluted aqueous sodium hydroxide.

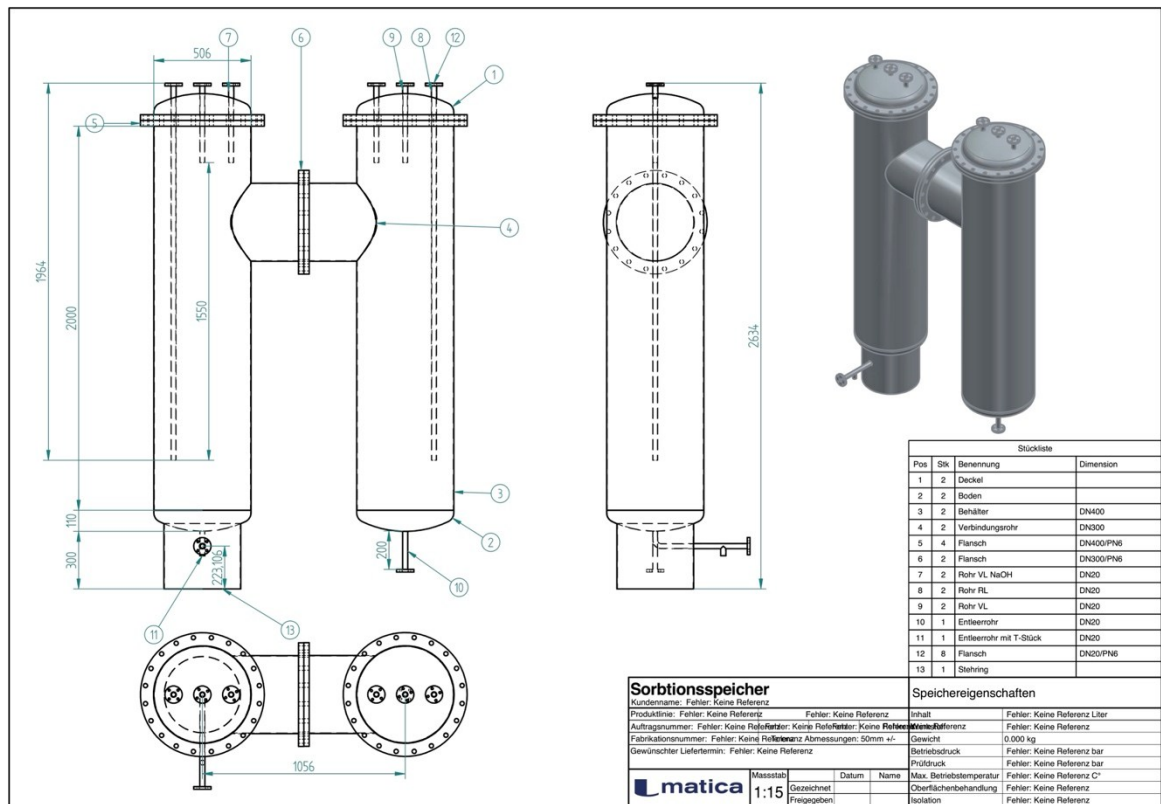


Figure 6: Technical drawing of the HMX-1 chamber showing the interconnected cylindrical vessel design and tube bundle arrangement.



Figure 7: Photograph of HMX-1 installed for laboratory testing at HSLU. The left vessel contains the absorber/desorber section, while the right vessel contains the evaporator/condenser section.

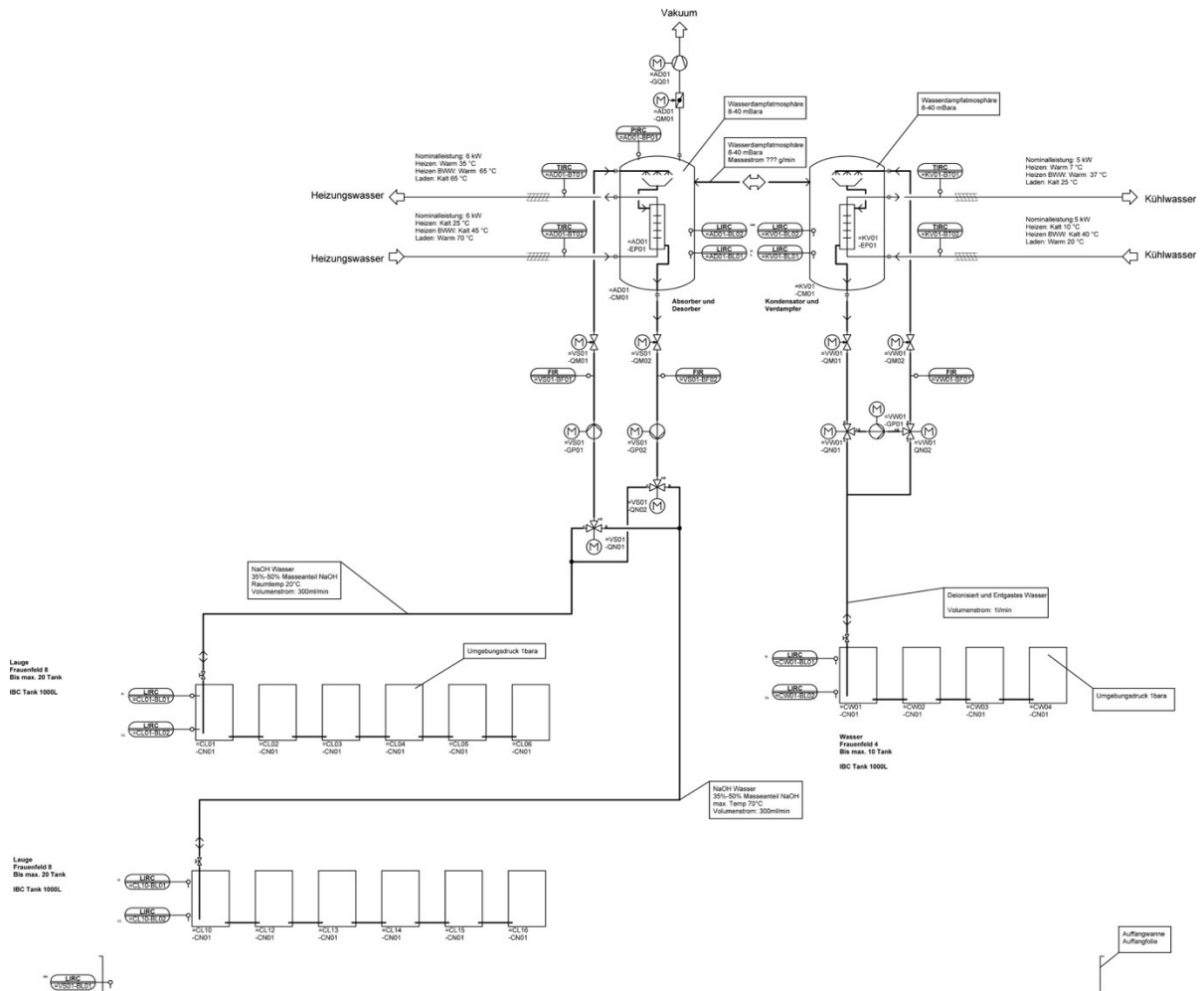


Figure 8: Piping and instrumentation diagram (P&ID) of the SSHP installation, showing the HMX including sensors and actuators (top) and the storage tank system (bottom).

2.2 WP2: Construction and Installation

The primary engineering focus during construction was directed towards the HMX, with emphasis on functional reliability and reduction of construction complexity compared to the previous laboratory demonstrator. The cylindrical vessel design was selected due to its manufacturing simplicity and similarity to commercially established hot-water storage tank geometries produced by the project partner Matica AG.

Both sides of the HMX-1 vessel were equipped with large flanges to enable internal access during assembly and maintenance. The complete HMX-1 assembly was insulated using 100 mm thermal insulation to minimize heat losses during operation.

The final installation integrates the SSHP into the building heating infrastructure as shown in the hydraulic integration scheme in Figure 10. During charging operation, the building heat pump supplies heat to the desorbent while simultaneously cooling the condenser. Buffer tanks were integrated on both the hot and cold sides to stabilize operation and reduce transient fluctuations. During discharging operation, low-temperature heat can either be sourced directly from ambient air or indirectly through the heat pump system.



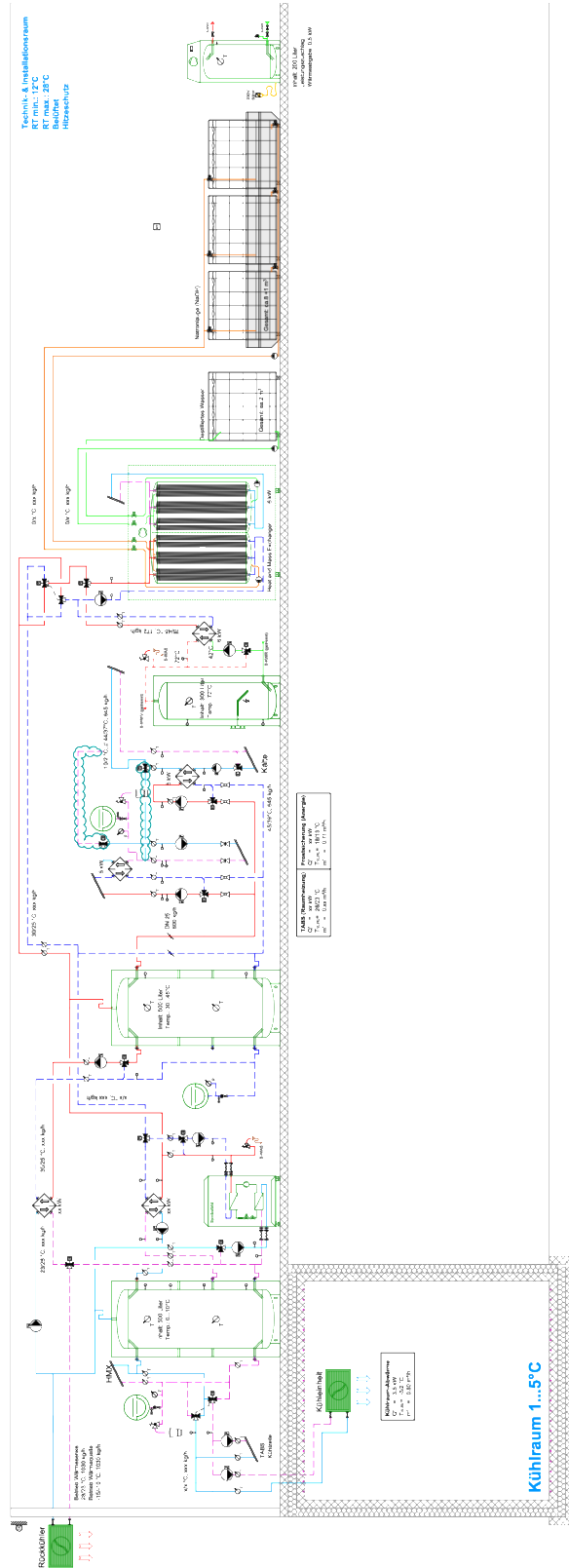
The working fluids, aqueous sodium hydroxide and water, are stored in intermediate bulk container (IBC) tanks placed inside a secondary containment basin in accordance with safety requirements for aqueous sodium hydroxide storage, as shown in Figure 9. Separate tanks are assigned for concentrated sodium hydroxide solution, diluted solution, and water storage.

The hydraulic integration includes stainless-steel piping, automated valves, pumps, flow measurement devices, temperature sensors, concentration measurements, level sensors, and pressure monitoring. The automation system controls switching between charging and discharging operation as well as drainage and safety procedures.

The complete installation, including the HMX, storage tanks, containment system, piping, sensors, actuators, and automation cabinet, was commissioned in Frauenfeld, as shown in Figure 11.



Figure 9: Picture of the installed absorbent and absorbate tanks. Three tanks hold concentrated aqueous sodium hydroxide and two hold water, in charged state, and four hold diluted aqueous sodium hydroxide in discharged state. This amounts to a storage capacity of around 1MWh, depending on the discharging process.



20/32



Figure 11: Photo of the complete system installed in Frauenfeld. On the left back are the working pair tanks and on the right front is the heat and mass exchanger. In this picture version HMX-1.

2.3 WP3: Operation and Monitoring

The operational testing within the project is divided into laboratory testing and field operation. Initially, individual subcomponents and subsequently the fully assembled HMX are tested under controlled laboratory conditions at HSLU. Following commissioning, preliminary operational tests are performed at the field installation site prior to long-term monitoring of the fully automated system under real operating conditions.

An extensive measurement concept was developed to enable detailed thermodynamic and operational analysis of the system performance. Laboratory testing is conducted under steady-state conditions using fixed operating temperatures and mass flow rates. Four operating conditions are defined, consisting of two charging and two discharging scenarios. During discharging operation, absorbent mass flow rates of 2, 4, and 6 g/min per tube are investigated using aqueous sodium hydroxide at an initial concentration of 50 wt%.

Heat supply and heat rejection during laboratory testing are provided by external heating and cooling units, enabling precise control of operating conditions. The principal evaluation parameters are temperature lift, thermal power, thermal energy density, operational stability, and overall system efficiency.

Following installation in the field, selected laboratory operating conditions are reproduced to verify consistency between laboratory and field operation. Subsequently, long-term monitoring of the automated system is conducted under practical operating conditions. The resulting data are used to evaluate



thermal and electrical system performance, electric load shifting potential, operational costs, and comparison with alternative seasonal energy storage technologies.

2.4 WP4: Dissemination

WP4 focuses on dissemination of the project results to both technical stakeholders and the broader public in order to increase awareness, understanding, and acceptance of seasonal sorption heat storage technology. The dissemination strategy includes scientific publications, public events, workshops, guided visits, and digital communication media.

In parallel to the technical activities, investigations regarding economic viability, business cases, and potential application areas are conducted. Based on these assessments, strategies for future implementation and commercialization are developed in collaboration with external stakeholders and advisory partners.

Public engagement activities include preparation of the demonstrator environment for on-site visits as well as development of communication materials including posters, videos, graphical illustrations, and brochures. Particular emphasis is placed on presenting the technology in an understandable and accessible manner through visual analogies and application-oriented explanations.

Stakeholder workshops and surveys are additionally conducted to evaluate the perception, understanding, and acceptance of the technology and to identify potential barriers for future implementation.

3 Results

3.1 WP1: Design and Automation

Preliminary testing of the manufactured manifolds revealed substantial flow maldistribution caused by manufacturing tolerances and partial obstruction of laser-cut distribution holes by manufacturing debris, as shown in Figure 12. Measured deviations reached up to $\pm 100\%$ relative to the intended flow distribution. The observed maldistribution significantly affected fluid wetting and heat and mass transfer performance within the HMX.



Figure 12: Photo of the HMX-1 laser cut distributing hole, clogged with debris.

Based on these findings, the manifold design was revised and manufacturing tolerances were improved for the second-generation HMX-2 system. Measurements performed on the refined manifold geometry



showed substantially improved flow distribution with deviations reduced to approximately $\pm 10\%$, as shown in Figure 13.

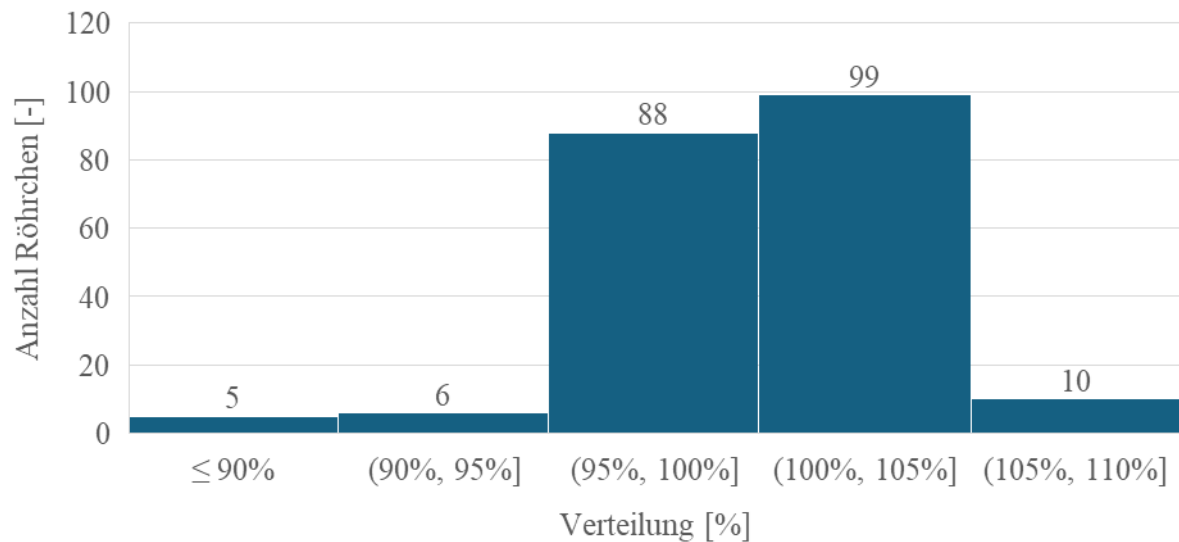


Figure 13: Distribution performance of the refined manifold.

During operation of HMX-1, leakage of ambient air into the vacuum vessel was observed at several flange connections. The investigations demonstrated that welded connections are preferable to mechanically sealed flange interfaces in order to minimise infiltration of non-condensable gases and improve long-term vacuum stability. Consequently, the HMX-2 vessel geometry was redesigned with simplified welded construction and reduced flange usage.

The PLC-based automation system, including safety logic and communication with the building heat pump, was successfully commissioned and validated during laboratory and field operation.



Figure 14: Photograph of HMX-1 at HSLU. The heat and mass exchanger, comprising two cylindrical stainless-steel vessels with flange lids, is prominently visible near the centre-right. On the left side, the sorbent tanks are displayed, with the front tank containing the charged sorbent.

3.2 WP2: Construction and Installation

The HMX-1 system was manufactured, assembled, tested at HSLU, see Figure 14, and subsequently installed in Frauenfeld, see Figure 15.

Assembly and welding of the tube bundles proved to be highly time-consuming due to the large number of manual welds required. Although most welds were leak-tight, several locations required reworking and reopening of the manifolds during manufacturing. This experience demonstrated the need for more automated welding procedures in future development stages to improve manufacturing reproducibility and reduce assembly effort.

The storage installation using IBC tanks within a secondary containment basin was successfully commissioned. The installation was initially tested using water prior to filling with approximately 50 wt% aqueous sodium hydroxide delivered in external transport containers. The filling concept further demonstrated the feasibility of future industrial-scale filling directly from delivery trucks.

The complete hydraulic integration, including piping, valves, pumps, sensors, and automated switching between charging and discharging operation, was successfully commissioned in Frauenfeld. In addition, the implemented pressure monitoring and vacuum control concept proved functional during operation and enabled removal of non-condensable gases from the HMX vessel.



Figure 15: Image of the HMXv1 system installation in Frauenfeld. Front right is the HMX and left back the storage tanks in the safety basin. The two are connected with stainless-steel tubes.

3.3 WP3: Operation and Monitoring

Initial testing focused on evaluation of the fluid distribution performance within the HMX-1 manifolds. The results confirmed substantial maldistribution of the working fluids, with deviations of up to $\pm 100\%$ from the intended flow rates caused primarily by manufacturing tolerances.

The complete HMX-1 system together with all peripheral components was assembled, commissioned, and tested under laboratory conditions at HSLU. The measured thermal performance remained significantly below the design target of 5 kW thermal power. During discharging operation, the maximum measured heating power was approximately 1.3 kW, see Figure 16.

Steady-state laboratory measurements further revealed unexpectedly low vapour pressures during operation, indicating insufficient evaporation performance. The results suggest that evaporator wetting and vapour generation were substantially lower than expected. This observation is supported by the limited increase in heating power despite increased sorbent flow rates, which simultaneously reduced the achieved energy density.

Due to the insufficient thermal performance and operational instability of HMX-1, detailed automated field operation and seasonal monitoring could not yet be initiated. Nevertheless, the complete system including the storage tanks was successfully installed and commissioned in Frauenfeld, enabling practical validation of the hydraulic integration, automation system, safety architecture, and handling of the working fluids under field conditions.

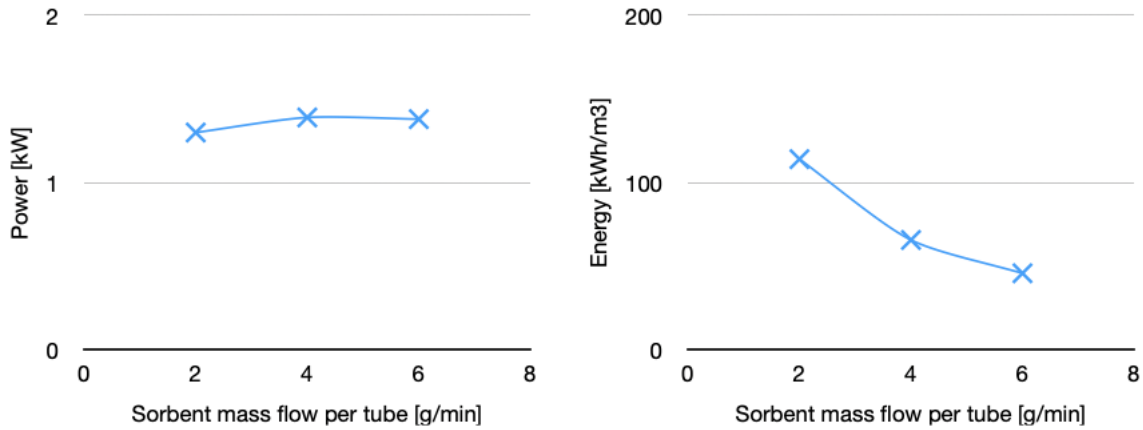


Figure 16: These figures show the results for heating power and energy density at an absorber temperature of 30 °C / 35 °C (inlet / outlet) and an evaporator temperature of 20 °C / 17 °C (inlet / outlet).

3.4 Further HMX-2 Development

The construction, installation, and operation of HMX-1 provided substantial engineering experience regarding manufacturing, assembly, vacuum operation, fluid handling, and system integration. Although the achieved thermal performance remained below the intended target, the complete development process enabled identification of critical design limitations and provided the basis for the next development iteration.

The second-generation HMX-2 system incorporates several major design improvements. In addition to the refined manifold geometry and improved manufacturing tolerances, the vessel design was simplified and compacted, reducing both material usage and construction complexity. Leakage-prone flange connections were removed and replaced by welded structures to minimize infiltration of non-condensable gases.

Steady-state laboratory testing of HMX-2 demonstrated significantly improved operational behavior. The measured manifold distribution quality and thermal performance confirmed the effectiveness of the revised manifold and vessel design. As a matter of fact, the system, designed for an output of 5 kW_{th}, delivers under nominal testing settings, the same as used for HMX-1 up to 8 kW_{th}, achieving more than expected. Nevertheless, the measured performance values still deviate slightly from the theoretical maximum values at increased mass flow rates and thermal power levels. This behavior indicates further improvement potential.

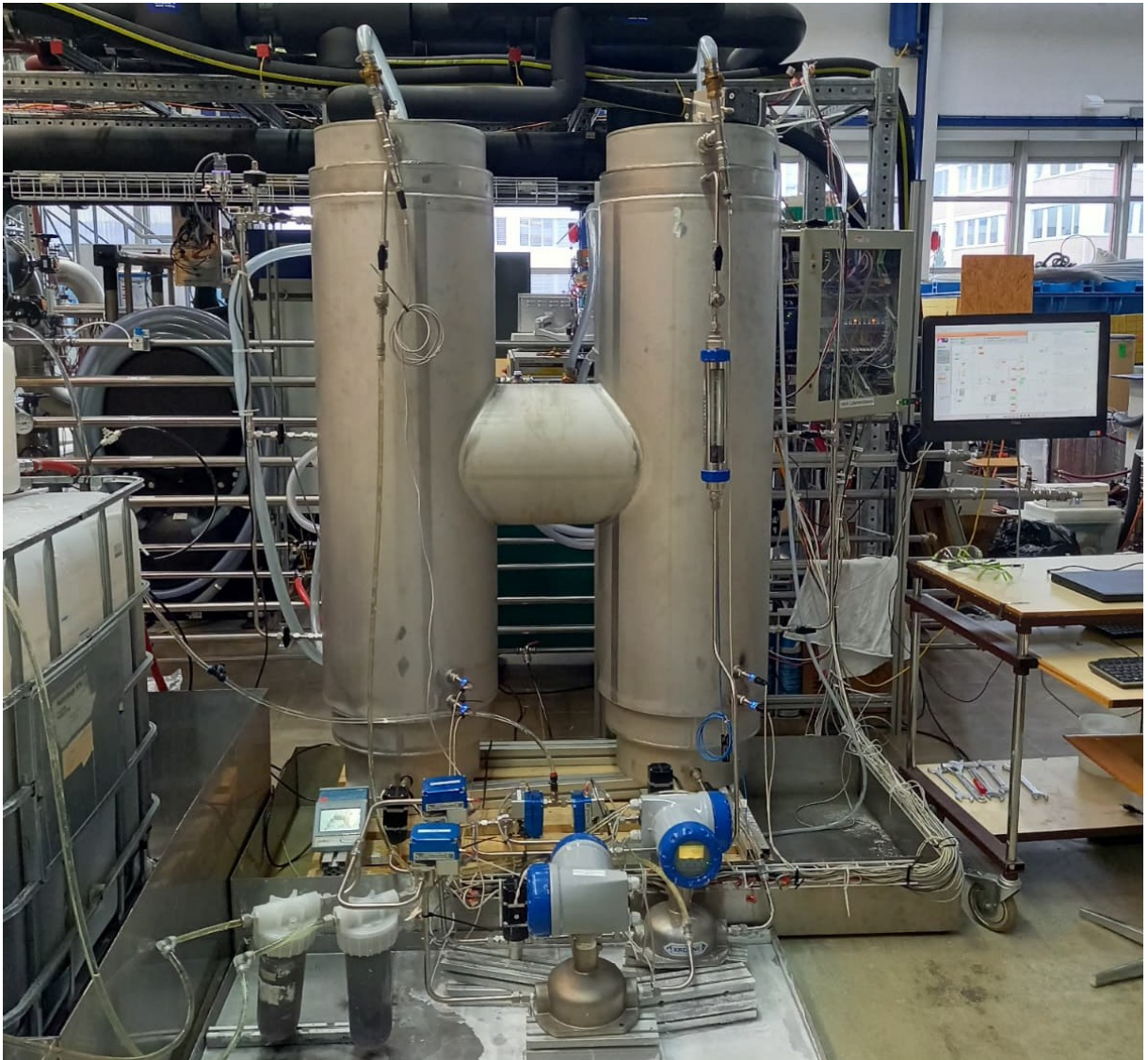


Figure 17: Picture of the HMX-2 system undergoing testing at HSLU. In the centre is the HMX, on the left the working pair tank and on the right the labview® testing automation and logging PC. Due to the high power, the HSLU heating and cooling grid, tubes visible behind the HMX are used, rather than the previously used heating and cooling machines.

Figure 18 shows the preliminary lab test results, in comparison with the HMX-1, HMX-2 by just improving the manifold distribution, reaches 6x higher power, and 3x greater energy density, while having reduced overall complexity.

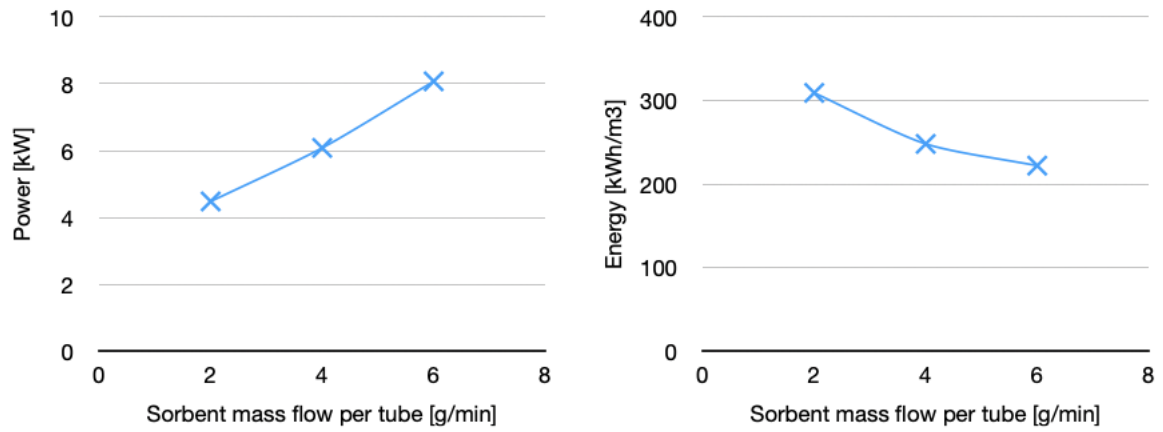


Figure 18: Diagram showing the performance of HMX-2 in heating modus, based on operating temperatures of 9 °C evaporator input and 6 °C output and 23 °C absorber inout and 30 °C output.





Figure 19: Image of the HMX-2 vessel design installed in Kaltenbach. The periphery components have been simplified compared the initial HMXv1 installation.

3.5 WP4: Dissemination and Commercial Activities

The project generated substantial public, industrial, and scientific interest. During the project period, Season Energy AG was founded to support further development and commercialization of the technology. In addition, multiple dissemination materials including technology videos and public communication content were developed and published.

The technology received several recognitions and awards, including the Watt d'Or 2025, the Greenovation Award 2025, finalist status for the Swiss Technology Award 2025, and the German Innovation Award 2026.

The project and technology were presented at multiple conferences, public events, and stakeholder workshops in Switzerland and internationally. Stakeholder workshops and qualitative surveys demonstrated that the technology is generally perceived as innovative and relevant for the Swiss energy transition. Stakeholders particularly valued the potential for seasonal thermal energy storage and reduction of winter electricity demand.

At the same time, the workshops revealed recurring questions regarding system costs, space requirements, efficiency, and practical implementation scenarios. The dissemination activities further demonstrated that simplified visual communication and application-oriented examples are essential for improving stakeholder understanding and acceptance of seasonal thermal energy storage technologies.

3.6 WP5: Management

Due to the technical challenges encountered during operation of HMX-1 and the resulting redesign activities, the project experienced significant delays relative to the original schedule. In particular, the redesign, manufacturing, and testing of HMX-2 substantially extended the duration of WP3.

The installation of HMX-2 in Frauenfeld is currently nearing completion. Further testing activities will focus initially on domestic hot water preparation and charging operation, followed by operation for space heating during the 2026/2027 heating season.

In collaboration with the city of Frauenfeld, plans are currently being developed to maintain long-term operation of the installation beyond the formal completion of the present project to continue performance monitoring and technology development.

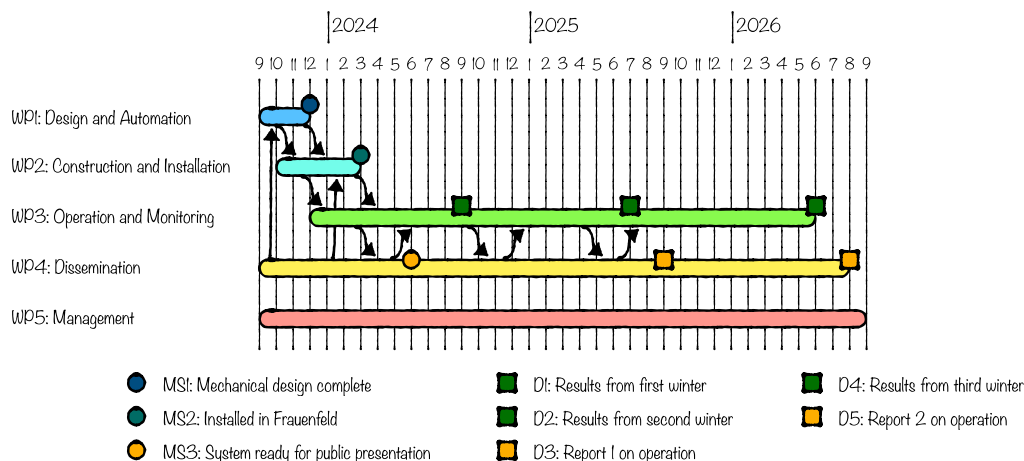


Figure 20: Original timeline from the application.



4 Discussion

The SorpStor project represents one of the first field implementations of a liquid sorption storage heat pump integrated into a real building heating system in Switzerland. The work performed to date has demonstrated both the substantial potential and the considerable technical challenges associated with seasonal thermochemical energy storage.

A central finding of the project is the critical importance of uniform fluid distribution within the heat and mass exchanger. Testing of the first-generation HMX-1 system revealed severe flow maldistribution caused primarily by manufacturing tolerances within the manifold geometry. The resulting deviations significantly reduced both thermal power and energy density and demonstrated the strong sensitivity of the system to fluid distribution quality.

The operational measurements further indicated that evaporator performance constitutes an additional limiting factor. The unexpectedly low vapor pressures observed during testing suggest insufficient evaporator wetting and consequently reduced vapor generation. Since vapor transport directly determines absorber performance and temperature lift, stable evaporator operation appears to be equally important as manifold design for achieving the targeted thermal performance.

Despite the insufficient thermal output of HMX-1, the project successfully validated several key aspects of system integration. The automation architecture, safety systems, hydraulic integration, and storage infrastructure were successfully implemented and commissioned. Furthermore, the installation demonstrated that safe handling and operation of large quantities of aqueous sodium hydroxide within a real building environment is technically feasible using appropriate containment and monitoring concepts.

The experience gained from HMX-1 directly enabled substantial improvements in the second-generation HMX-2 system. Improved manifold manufacturing reduced fluid distribution deviations from approximately $\pm 100\%$ to $\pm 10\%$. In parallel, simplification of the vessel design and replacement of flange connections by welded structures significantly improved vacuum stability and reduced the risk of infiltration of non-condensable gases.

Initial laboratory results from HMX-2 indicate clear and substantial improvements in operational behavior and confirm the effectiveness of the revised design approach. The slight deviation between measured and theoretical performance at higher mass flow rates indicates that further optimization of heat and mass transfer is possible.

Beyond the technical findings, the project also demonstrated the importance of stakeholder communication and public dissemination for emerging energy storage technologies. Workshops and surveys showed substantial interest in seasonal thermal storage solutions, particularly regarding reduction of winter electricity demand and increased utilization of renewable energy. At the same time, the activities revealed that thermochemical storage technologies remain difficult to communicate to non-specialist audiences and require simplified visual explanation and practical application examples.

The foundation of Season Energy AG and the recognition received through several national and international awards further demonstrate growing interest in compact seasonal thermal energy storage technologies and support the long-term commercialization potential of the system.

Overall, the project demonstrates that liquid sorption-based seasonal thermal energy storage remains a highly promising but technically demanding technology. While substantial further development is still possible regarding heat and mass transfer performance, evaporator design, operational stability, and scalable manufacturing, the knowledge gained within the project provides a strong basis for continued optimization particularly in material and sensor reduction and future field operation.



5 Conclusions and outlook

The SorpStor project represents an important development step towards practical implementation of seasonal thermochemical energy storage systems in buildings. Within the project, a fully integrated sorption storage heat pump (SSHP) demonstrator was developed, constructed, installed, and commissioned in a real building environment in Frauenfeld. The work performed to date substantially advanced the technological maturity of the system and generated valuable engineering and operational experience regarding design, automation, safety, and system integration.

A key outcome of the project is the identification of fluid distribution within the heat and mass exchanger (HMX) as one of the central performance-limiting factors. Testing of the first-generation HMX-1 system revealed substantial maldistribution of the working fluids caused primarily by manufacturing tolerances within the manifold design. As a consequence, the achieved thermal performance remained significantly below the design target. Nevertheless, the installation and operation of HMX-1 enabled comprehensive evaluation of the complete system architecture and provided essential insights into practical construction, vacuum stability, fluid handling, automation, and field integration.

Based on the operational experience gained with HMX-1, substantial improvements were implemented in the second-generation HMX-2 design. These developments included refined manifold manufacturing, reduced production tolerances, simplified vessel construction, removal of leakage-prone flange connections, and overall system compacting. Initial laboratory testing of HMX-2 demonstrated significantly improved fluid distribution and promising increases in operational performance, although further optimisation remains necessary, particularly regarding evaporator wetting and mass transfer limitations at higher power levels.

Beyond the technical development, the project successfully demonstrated the feasibility of integrating a seasonal sorption storage system into a real building heating environment. The automation system, safety architecture, storage infrastructure, and hydraulic integration with the conventional heat pump were all implemented and commissioned successfully. In addition, the project generated substantial public and stakeholder interest, supported by dissemination activities, workshops, public demonstrations, and several national and international recognitions.

Although the project experienced significant delays due to the iterative redesign and redevelopment of the HMX system, the resulting engineering insights substantially strengthened the technological basis for future development. The current installation of HMX-2 in Frauenfeld will enable continued testing during the upcoming heating seasons. Future work will focus on:

- long-term automated operation,
- seasonal charging and discharging,
- domestic hot water preparation,
- operational stability,
- system efficiency,
- and further reduction of system complexity and cost.

Overall, the project demonstrates that liquid sorption-based seasonal thermal energy storage remains a highly promising technology for reducing winter electricity demand and increasing renewable energy utilisation in buildings. While further technical development is still required, particularly regarding heat and mass transfer performance and scalable manufacturing, the work completed within SorpStor provides a strong foundation for future optimisation and commercialisation of seasonal sorption storage systems.



6 Appendix

As separate documents:

- Sicherheitsdokument_SSWP_Frauenfeld
- Messkonzept Frauenfeld_V3
- Elektroschema HMX V0.2-3
- Betriebsbeschreibung_S&A_Zustände
- Dissemination report WP4
- List of Awards, Dissemination and articles

Two technology videos have been produced accessible under <https://www.seasonenergy.ch>.

- The technology is winner of the:
 - o Watt D'Or 2025
 - <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/91371.pdf>
 - o Greenovation 2025
 - <https://www.greenovation-summit.ch/greenovationaward>
 - o Swiss Technology Award 2025 Finalist
 - <https://www.open-i.swiss/en/swiss-technology-award/swiss-technology-award-night>
 - o German Innovation Award 2026
 - <https://www.german-innovation-award.de/ausgezeichnet/galerie/detail/energy-solutions/season>

The technology has been presented at the following events and conferences:

- 2025-05-15-17, Unser Klima, HB Zurich
- 2025-06-16, Forum Energie Zürich, online
- 2025-08-23, Post Kaltenbach open doors Kaltenbach
- 2025-08-28, European Power Network, Aarau
- 2025-09-16, SeasON event Kaltenbach
- 2025-09-24-26, Swiss-Japan Energy Days, Expo Osaka, Japan
- The technology has been reported in the following news outlets:
 - Energie 360°
 - Thurgauer Zeitung
 - Tagblatt
- 2025-12 IEA Energy Storage TCP

Sicherheitsdokument des Prototyps eines mit Natronlauge betriebenen Heizsystems/ Sorptionsspeicher-Wärmepumpe

Bild einfügen, sobald die Anlage steht.

Inhaltsverzeichnis

1	Stand.....	1
2	Allgemeine Angaben zum Betrieb.....	1
3	Verantwortlichkeit (gemäss Unterhalsdokument)	1
4	Beschreibung der Anlage	1
4.1	Einleitung	1
4.2	Anlagebeschreibung	1
4.3	Standort und Lageplan	1
4.4	Lieferanten der Anlagenkomponenten	3
4.5	Funktionseinheiten	3
4.6	R&I Schema der Anlage	4
4.7	Allgemeine Stoffdaten, inkl. Sicherheitsdaten	4
4.7.1	Physikalische und chemische Eigenschaften	4
4.7.2	Gefahrenhinweise	6
4.7.3	Sicherheitshinweise	6
4.7.4	Erste-Hilfe-Massnahmen.....	6
4.7.5	Massnahmen zur Brandbekämpfung.....	7
4.7.6	Massnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung.....	7
4.7.7	Handhabung und Lagerung.....	7
4.7.8	Schutzausrüstung.....	8
4.7.9	Toxikologische Angaben	8
4.7.10	Umwelt Angaben	8
4.8	Sicherer Zustand.....	8
5	Risikoanalyse	9
5.1	Sollfunktionen	9
5.2	Dokumentation PAAG-Studie zu Sollfunktionen.....	12
6	Beurteilung der Risiken	35
6.1	Risikomatrix: Aufbau	35
6.2	Risikomatrix: Beurteilung der Risiken	36
7	Notwendige Schutzmassnahmen	38
8	Umsetzung der Schutzmassnahmen.....	38
9	Externe Risiken.....	40
9.1	Mögliche Risiken	40
9.2	Analyse der Gefahren durch externe Risiken.....	40
10	Konformitätserklärung und Bedienungsanleitung	41

1 Stand

2 Allgemeine Angaben zum Betrieb

3 Verantwortlichkeit (gemäss Unterhaltsdokument)

4 Beschreibung der Anlage

4.1 Einleitung

In Bezug auf die saisonalen Schwankungen der Solarenergie ist die Energiespeicherung essenziell, denn die Verfügbarkeit sowie die Nachfrage decken sich nicht ab. Bei der in Frauenfeld stehenden Anlage handelt es sich um die erste Pilotanlage der Sorptionsspeicher-Wärmepumpe, welche einen saisonalen Energiespeicher für Heizwasserwärme in Gebäuden darstellt. Die spezifische Aufgabe der Anlage besteht darin, in der wärmeren Jahreshälfte Energie aus PV-Anlagen zu speichern, um sie dann in der kälteren Jahreshälfte zum Heizen zu verwenden. Dabei wird die Wärme nicht direkt gespeichert, sondern es wird ein Potential für Wärmerückgewinnung gespeichert.

4.2 Anlagebeschreibung

Das grundlegende Prinzip der verwendeten Sorptionsspeicher-Wärmepumpe basiert auf der Sorption und Desorption von NaOH und Wasser. Diese Vorgänge finden in einem sogenannten Wärme- und Massenübertrager (HMX, engl. für Heat and Mass Exchanger) statt. Dieser bildet auch das Kernstück der Anlage. In ihm befindet sich der Absorber/Desorber und der Verdampfer/Kondensator, welche untereinander ein offenes System bilden, hingegen gegenüber der Umgebung abgeschlossen ist. Der HMX besteht aus einem Edelstahlgehäuse mit Wärmetauschern im Inneren, welche ebenfalls aus Edelstahl bestehen. Die Sorption/Desorption findet zwischen dem Sorbens (NaOH) und dem Sorptiv (Wasser) statt. Wobei es sich nie um eine reines Sorbens handelt, sondern um eine NaOH-Lösung (Sorbat genannt), welche hoch- oder tiefkonzentriert vorliegt. Bei der hochkonzentrierten NaOH-Lösung spricht man vom geladenen Sorbat und bei der tiefkonzentrierten vom entladenen Sorbat. Um die notwendige Energiemenge zu speichern sind jeweils **XX** IBC Tanks für das geladene sowie das entladene Sorbat und **XX** IBC Tanks für das Sorptiv mit dem HMX verbunden. Diese bilden das Speichersystem. Der HMX ist über den Absorber/Desorber und den Verdampfer/Kondensator mit einem Wärmeübertragerfluid indirekt mit dem Gebäude verbunden. Je nach Betriebsbedingungen wird eine Senke/Quelle im Absorber/Desorber und eine Quelle/Senke im Verdampfer/Kondensator benötigt, welche über das Wärmeübertragerfluid entsprechend bereitgestellt wird.

Bilder, um die Komponenten zu zeigen/beschreiben.

4.3 Standort und Lageplan

ADRESSE: Haubitzenstrasse 38, 8500 Frauenfeld

Die Anlage befindet sich in der Tierkadaversammelstelle (TKSS) der Stadt Frauenfeld. Das Gebäude der TKSS steht nördlich der Stadt (siehe Abbildung 1). In Abbildung 2 sind die

Zufahrtsstrasse zur TKSS ersichtlich (Stand 2024). Das Gebäude steht neben der Kläranlage der Stadt (siehe Abbildung 3).

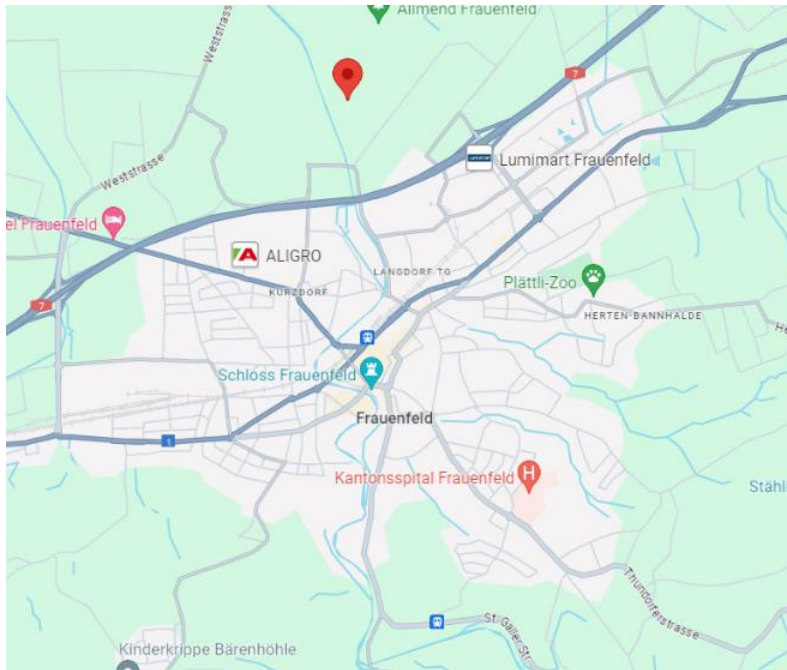


Abbildung 1: Kartenansicht Frauenfeld [Google Maps, 2024]

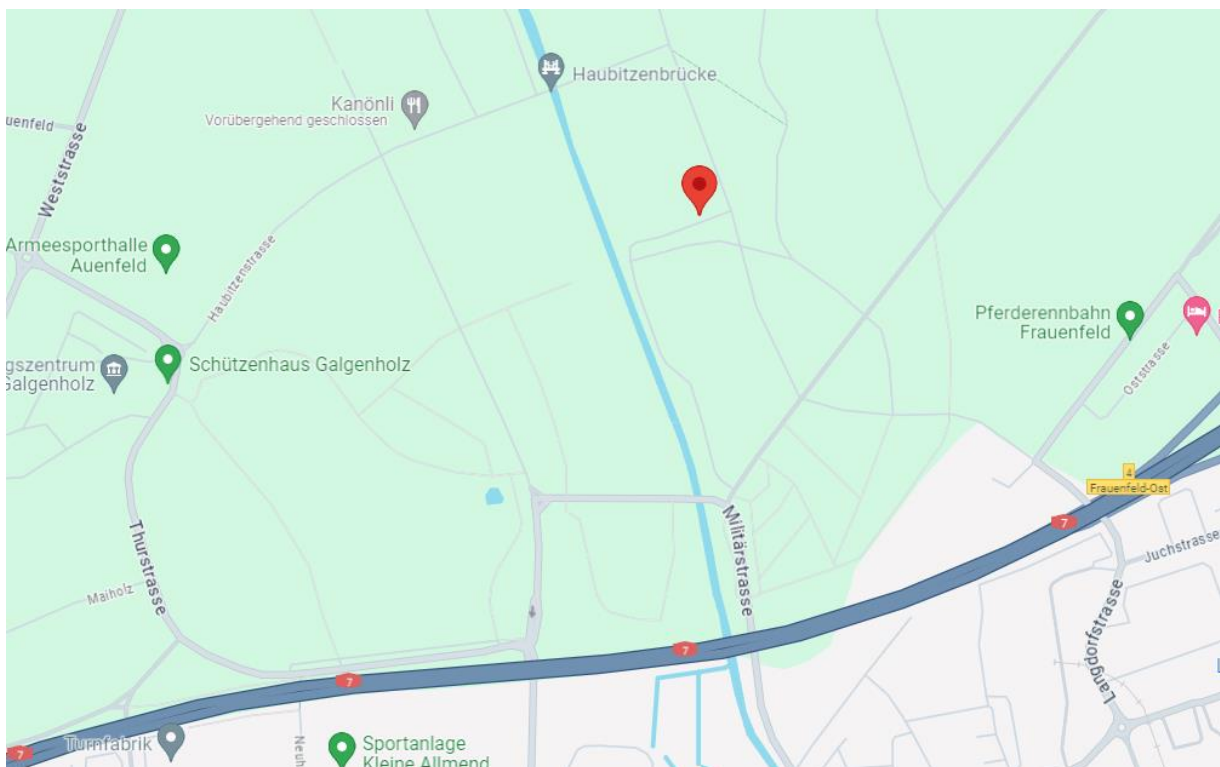


Abbildung 2: Kartenansicht Region Tierkadaversammelstelle Frauenfeld [Google Maps, 2024]

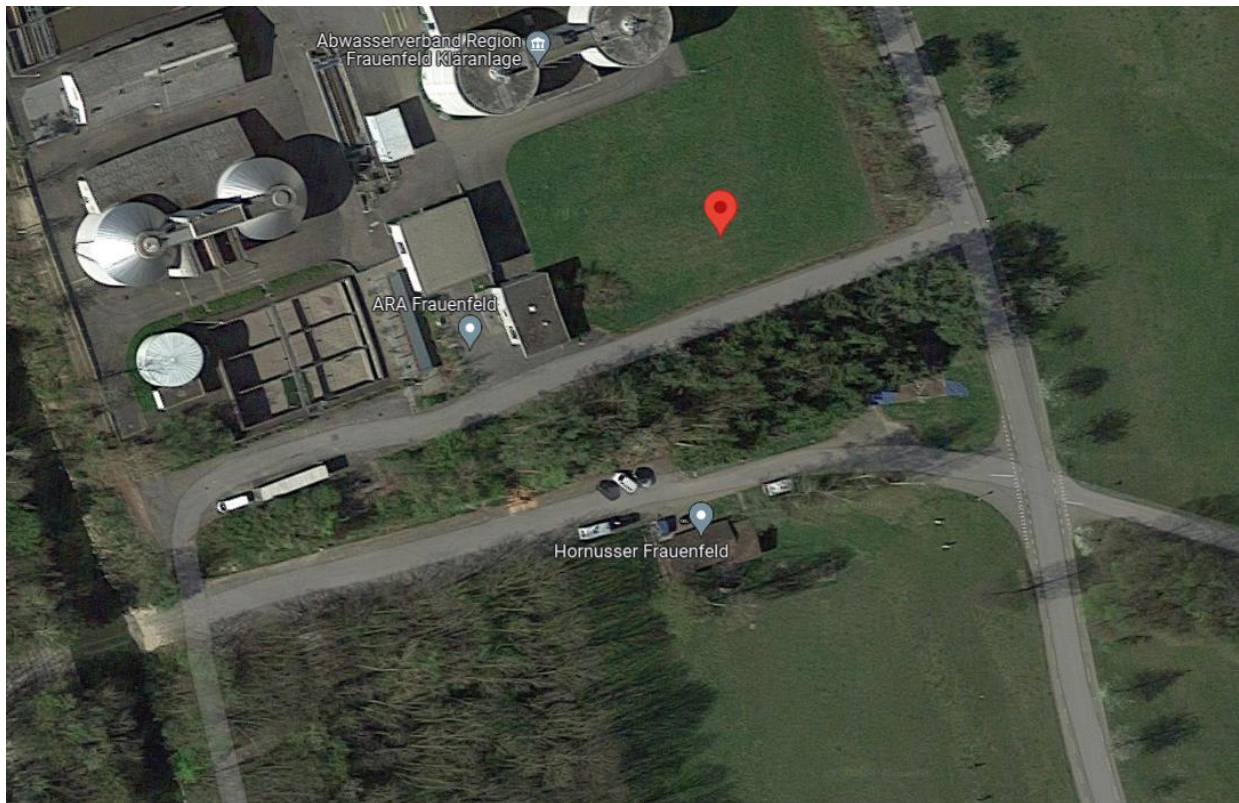


Abbildung 3: Ansicht Standort Tierkadaversammelstelle Frauenfeld, Sattellitenbild [Google Maps, 2024]

Bild vom Gebäude (ebenfalls mit kurzem Fliesstext oben zu ergänzen)

4.4 Lieferanten der Anlagenkomponenten

Noch zu definieren

4.5 Funktionseinheiten

Die Anlage wird in vier Funktionseinheiten unterteilt werden. Das Speichersystem bildet eine Einheit. Der HMX bildet eine weitere, wobei er nach seinen Betriebszuständen (Laden/Entladen) in je eine Einheit aufgeteilt ist. Das Gebäude bildet die letzte Einheit, wobei sie nur aus der Schnittstelle, respektive den Wärmeübertragerfluide im HMX besteht. Die Funktionseinheiten umfassen folgende Komponenten.

Funktionseinheit 1 (Tanksystem):

- XX IBC Tanks à XX L für das Sorptiv
- XX IBC Tanks à XX L für das geladene Sorbat
- XX IBC Tanks à XX L für das entladene Sorbat

Funktionseinheit 2 (HMX; Laden):

- HMX mit Desorber und Kondensator.
- Alle Pumpen die im geschlossenen Kreislauf des HMX sind.
- Alle Ventile die im geschlossenen Kreislauf des HMX sind.

Funktionseinheit 3 (HMX; Entladen):

- HMX mit Absorber und Verdampfer.
- Alle Pumpen die im geschlossenen Kreislauf des HMX sind.

- Alle Ventile die im geschlossenen Kreislauf des HMX sind.

Funktionseinheit 4 (Wärmeübertragerfluid):

- Dies stellt das Gebäude dar.
- Das Wärmeübertragerfluid im Absorber/Desorber und Verdampfer/Kondensator mit deren Pumpen und Regelventilen stellt in diesem Kontext das Gebäude dar.

Die Funktionseinheiten werden weiter unten bezüglich den Betriebsrisiken einzeln betrachtet.

4.6 R&I Schema der Anlage

R&I Schema Bild.

4.7 Allgemeine Stoffdaten, inkl. Sicherheitsdaten

4.7.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

Der Sorption/Desorption Vorgang findet zwischen NaOH und Wasser statt. Da es sich nie um reines NaOH handelt, sondern um eine hoch- und tiefkonzentrierte NaOH-Lösung, werden nur die Stoffdaten der vorkommenden Lösungen besprochen. Für die minimale Konzentration von 27wt% (Gewichtsprozent) gibt es keine Literaturwerte, weshalb die Daten für eine Konzentration von 30wt% angegeben sind. In Tabelle XX sind die Daten der vorkommenden Stoffe aufgelistet. Wobei für das Sorptiv (Wasser) nur sinnvolle Eigenschaften aufgelistet wurden.

	Wasser (Sorptiv)	50wt% NaOH-Lösung (geladenes Sorbat)	30wt% NaOH-Lösung (entladenes Sorbat)
Aussehen - Form: - Farbe:	flüssig farblos	flüssig weiss (??)	flüssig farblos
Geruch:	Nicht wahrnehmbar	Charakteristisch	Nicht wahrnehmbar
pH-Wert bei 20°C	7	14	14
Zustandsänderung - Schmelzpunkt/Gefrierpunkt - Siedebeginn und Siedebereich	0°C 100°C	12°C 143°C	3°C 119°C
Flammpunkt:	Nicht anwendbar.	Nicht anwendbar.	Nicht anwendbar.
Entzündbarkeit (fest, gasförmig):	Nicht anwendbar.	Nicht anwendbar.	Nicht anwendbar.
Selbstentzündungstemperatur:	Nicht selbstentzündlich.	Nicht selbstentzündlich.	Nicht selbstentzündlich.
Explosive Eigenschaften:	Nicht explosionsgefährlich.	Nicht explosionsgefährlich.	Nicht explosionsgefährlich.
Dampfdruck bei 20 °C:	23hPa	23hPa	23hPa
Dichte bei 20 °C:	0.998 g/cm ³	1.525 g/cm ³	1.33 g/cm ³
Löslichkeit in / Mischbarkeit mit Wasser:	-	Vollständig mischbar.	Vollständig mischbar.
Viskosität - Dynamisch bei 20 °C: - Kinematisch:	1mPas 1.002e-6 m ² /s	79mPas nicht bestimmt.	14mPas nicht bestimmt.

Tabelle 1: Physikalische und chemische Stoffeigenschaften

4.7.2 Gefahrenhinweise

Wasser hat keine Gefahrenhinweise.

Natriumhydroxid (NaOH) sind gemäss der Verordnung (EG) Nr.1272/2008 folgende H-Sätze zuzuordnen:

- | | |
|------|---------------------------------------|
| H314 | Ätz-/Reizwirkung auf die Haut. |
| H318 | schwere Augenschädigung/Augenreizung. |

Zusätzlich gilt:

- | | |
|------|--|
| H290 | Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. |
|------|--|

Und wird mit Piktogramm GHS05 für Ätzwirkung beschriftet, siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Piktogramm GHS05 für Ätzwirkung

4.7.3 Sicherheitshinweise

Wasser hat keine Sicherheitshinweise.

Für NaOH gelten folgende P-Sätze:

- | | |
|----------------|--|
| P301+P330+P331 | BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. |
| P303+P361+P353 | BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen [oder duschen]. |
| P305+P351+P338 | BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. |
| P310 | Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen. |
| P321 | Besondere Behandlung (siehe auf dieser Kennzeichnungsetikett). |
| P405 | Unter Verschluss aufbewahren. |
| P501 | Entsorgung des Inhalts / des Behälters gemäß den örtlichen / regionalen / nationalen/ internationalen Vorschriften. |

4.7.4 Erste-Hilfe-Massnahmen

Die folgenden Erste-Hilfe-Massnahmen sind bei ungeschütztem Kontakt mit NaOH jederzeit einzuhalten.

- Allgemein gilt: verunreinigte Kleidungsstücke sind unverzüglich zu entfernen.
- Wird der Stoff eingeatmet, ist die betroffene Person sofort an eine Frischluftquelle zu bringen. In Abhängigkeit der Expositionszeit ist sofort ein Arzt aufzusuchen. Bei Bewusstlosigkeit der betroffenen Person ist sie in der stabilen Seitenlage zu lagern und zu transportieren.
- Kommt es zum Hautkontakt, ist die betroffene Stelle sofort mit Wasser und Seife abzuwaschen. Anschliessend ist gut nachzuspülen.
- Kommt es zum Augenkontakt, ist das Auge/die Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten unter fließendem Wasser abzuspülen. Es ist immer ein Arzt zu konsultieren.
- Wird der Stoff verschluckt, ist reichlich Wasser nachzutrinken und sofort eine Frischluftquelle aufzusuchen. Es ist unverzüglich ein Arzt herbeizuziehen.

4.7.5 Massnahmen zur Brandbekämpfung

Es sind keine besonderen Massnahmen zu treffen.

4.7.6 Massnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Die folgenden Massnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung beziehen sich nur auf den Stoff NaOH.

Personenbezogene Vorsichtsmassnahmen:

- Bei einer unbeabsichtigten Freisetzung dürfen sich nur Personen in Schutzausrüstung dem Stoff nähern. Ungeschützte Personen sind fernzuhalten.

Umweltschutzmassnahmen:

- Grundsätzlich ist der Stoff nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen zulassen. Geschieht dies trotzdem, ist die zuständige Behörde zu benachrichtigen.
- Nach Möglichkeit sollte der Stoff sofort mit viel Wasser verdünnt werden.

Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung:

- Die Flüssigkeit ist bei Freisetzung mit einem Inertbinder aufzunehmen.
- Nach Möglichkeit ist ein Neutralisationsmittel anzuwenden.
- Das kontaminierte Material ist als Abfall zu entsorgen (siehe weiter unten).
- Es ist für eine ausreichende Lüftung des betroffenen Innenraumes zu sorgen.

4.7.7 Handhabung und Lagerung

Die folgenden Handhabungs- und Lagerungsmassnahmen beziehen sich nur auf den Stoff NaOH.

Schutz zur sicheren Handhabung:

- Beim Verdünnen ist stets Wasser vorzulegen und NaOH ist hineinzurühren.
- Der Arbeitsplatz muss entweder gut belüftet sein oder eine gute Absaugung vorweisen.
- Aerosolbildung vermeiden.

Lagerung:

- Ab einer Lagermenge von 100kg: Der gesamte Lagerbereich bildet eine abflusslose Wanne.
- Eine Lagertemperatur zwischen 15°C und 40°C wird empfohlen.
- Der Lagerbehälter ist dicht geschlossen zu halten.

4.7.8 Schutzausrüstung

Die folgenden Schutzmassnahmen beziehen sich nur auf den Stoff NaOH.

Allgemeine Schutz- und Hygienemassnahmen:

- Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten. Beschmutzte, Getränkte Kleidung sofort ausziehen. Vor den Pausen und bei Arbeitsende Hände waschen. Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.

Atemschutz:

- Bei kurzzeitiger oder geringer Belastung bedarf es ein Atemfiltergerät.
- Bei intensiver oder längerer Exposition bedarf es ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät.

Handschutz:

- Bei der Handhabung sind Handschuhe, welche aus einem gegen NaOH beständigen Material bestehen, zu tragen.

Augenschutz:

- Es ist eine dichtschiessende Schutzbrille zu tragen.

Körperschutz:

- Es ist eine Schutzkleidung zu tragen, wobei ein Laborkittel ausreichend ist.

4.7.9 Toxikologische Angaben

Wasser hat keine toxikologischen Eigenschaften.

NaOH, 27%wt und 50%wt, hat folgende toxikologische Eigenschaften.

- Er führt bei Kontakt mit der Haut zu schweren Verätzungen.
- Er führt bei Kontakt mit den Augen zu schweren Augenschäden.

4.7.10 Umwelt Angaben

Wasser hat keine Auswirkung auf die Umwelt.

NaOH, 27%wt und 50%wt, weist folgenden Umweltangaben auf.

- Er wird bezüglich der Umwelt in der Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingeordnet.
- Bei Zugabe von Wasser entwickelt sich aufgrund der Mischung Wärme.
- Gelangen grössere Mengen in die Kanalisation oder Gewässer kann es zu einer pH-Wert-Erhöhung kommen. Dies wirkt schädigend für Wasserorganismen, jedoch reduziert sich der pH-Wert bei Verdünnung erheblich, weshalb NaOH nur schwach Wassergefährdend wirken.

4.8 Sicherer Zustand

Als sicherer Zustand wird jeder Zustand der Anlage betrachtet, in dem kein NaOH in die Umgebung gelangt. Die gesamte Anlage bildet ein geschlossenes System, in dem Brand- oder

Explosionsgefahren ausgeschlossen sind. Daher sind diverse Fehlzustände der Anlage nach wie vor als sicher einzustufen.

5 Risikoanalyse

In diesem Kapitel wird die Risikoanalyse detailliert dokumentiert. Die Risikoanalyse wurde nach einer abgeänderten Art des PAAG-Verfahrens durchgeführt. PAAG ist das Akronym für die vier Teilschritte des Verfahrens: Prognose, Auffinden der Ursache, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmassnahmen. Da das PAAG-Verfahren keine Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse betrachtet, wurde der Aspekt mit den Gegenmassnahmen nicht durchgeführt. Für den Normalbetrieb der Anlage wurden alle möglichen Abweichungen (Prognose) genannt und deren Ursachen, sowie Auswirkungen erfasst. Die Einschätzung wie wahrscheinlich ein Ereignis eintritt und wie gross dessen Schaden ist, wird erst im folgenden Kapitel 6 dokumentiert. Anschliessend werden in Kapitel 7 und 8 die Gegenmassnahmen erläutert.

5.1 Sollfunktionen

Für die Funktionseinheiten (siehe Kapitel 4.5) wurden Sollfunktionen definiert, welche die Arbeitsweise der einzelnen Komponenten für den normalen Betrieb beschreiben. Sind diese Sollfunktionen erfüllt, läuft der Betrieb normal. Nachfolgend in Tabelle 2, Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Sollfunktionen ersichtlich.

Funktionseinheit: 1 (Tanksystem)	
Nr.	Sollfunktion
1.1	Das IBC-Speichertanks für das Sorptiv (Wasser) sind immer mit einem Flüssigkeitsvolumen zwischen tbd L und tbd L befüllt. Der Füllstand variiert je nach Betriebsanforderungen zwischen diesen beidem Extremwerten. Der Druck und die Temperatur des Sorptivs ist dabei gleich den Umgebungsbedingungen.
1.2	Die IBC-Speichertanks für das geladene Sorbat (hochkonzentriert NaOH-Lösung) sind immer mit einem Flüssigkeitsvolumen zwischen tbd L und tbd L befüllt. Der Füllstand variiert je nach Betriebsanforderungen zwischen diesen beidem Extremwerten. Der Druck und die Temperatur des geladenen Sorbates ist dabei gleich den Umgebungsbedingungen.
1.3	Die IBC-Speichertanks für das entladene Sorbat (tiefkonzentriert NaOH-Lösung) sind immer mit einem Flüssigkeitsvolumen zwischen tbd L und tbd L befüllt. Der Füllstand variiert je nach Betriebsanforderungen zwischen diesen beidem Extremwerten. Der Druck und die Temperatur des entladenen Sorbates ist dabei gleich den Umgebungsbedingungen.

Tabelle 2: Funktionseinheit 1, Sollfunktionen

Funktionseinheit: 2 (HMX; Laden)	
Nr.	Sollfunktion
2.1	Im gesamten HMX herrscht der für den Betrieb notwendige Dampfdruck (variiert je nach Betriebsanforderung). Der Dampfdruck wird über die Vakuumpumpe M1.3 aufrechterhalten.
2.2	Dem Desorber wird über die Pumpe M10.2 kontinuierlich ein geregelter Volumenstrom an tiefkonzentrierter NaOH-Lösung zugeführt. Der Zustand der Lösung ist identisch zu dem im Tanksystem.
2.3	Hochkonzentrierte NaOH-Lösung sammelt sich am Boden des Desorbers. Der Füllstandsensor B18.2 gibt an, sobald ein kritischer Füllstand erreicht wird. Dann wird die Hochkonzentrierte NaOH-Lösung mittels der Pumpe M10.6 den Speichertanks für geladenes Sorbat zugeführt; dies geschieht immer unter voller Pumpenleistung. Die volle Pumpenleistung führt zu einem Volumenstrom von tbd l/min.

2.4	Dem Kondensator wird kein Volumenstrom zugeführt.
2.5	Das ausgetriebene Sorptiv ist unter den gegebenen Bedingungen dampfförmig; kondensiert dann im Kondensator und sammelt sich am Boden desjenigen. Der Füllstandsensor B18.4 gibt an, sobald ein kritischer Füllstand erreicht wird. Dann wird das Sorptiv mittels der Pumpe M9.6 den Speichertanks für das Sorptiv zugeführt; dies geschieht immer unter voller Pumpenleistung. Die volle Pumpenleistung führt zu einem Volumenstrom von tbd l/min.

Tabelle 3: Funktionseinheit 2, Sollfunktionen

Funktionseinheit: 3 (HMX; entladen)	
Nr.	Sollfunktion
3.1	Im gesamten HMX herrscht der für den Betrieb notwendige Dampfdruck (variiert je nach Betriebsanforderung). Der Dampfdruck wird über die Vakuumpumpe M1.3 aufrechterhalten.
3.2	Dem Absorber wird über die Pumpe M10.2 kontinuierlich ein geregelter Volumenstrom an hochkonzentrierter NaOH-Lösung zugeführt. Der Zustand der Lösung ist identisch zu dem im Tanksystem.
3.3	Tiefkonzentrierte NaOH-Lösung sammelt sich am Boden des Desorbers. Der Füllstandsensor B18.2 gibt an, sobald ein kritischer Füllstand erreicht wird. Dann wird die tiefkonzentrierte NaOH-Lösung mittels der Pumpe M10.6 den Speichertanks für entladenes Sorbat zugeführt; dies geschieht immer unter voller Pumpenleistung. Die volle Pumpenleistung führt zu einem Volumenstrom von tbd l/min.
3.4	Dem Verdampfer wird über die Pumpe M9.6 kontinuierlich ein geregelter Volumenstrom an Sorptiv zugeführt.
3.5	Das Sorptiv welches zum Verdampfer geführt wird stammt aus den Speichertanks für das Sorptiv; mit Ausnahme der folgenden Beschreibung: Das Sorptiv verdampft nicht vollständig im Verdampfer und sammelt sich am Boden desjenigen. Der Füllstandsensor B18.4 gibt an, sobald ein kritischer Füllstand erreicht wird. Dann ändert sich die Position des Ventils M12.7 mit folgender Auswirkung: die Saugseite der Pumpe M9.6 wird vom Tanksystem getrennt und mit dem Boden des Verdampfers verbunden. Dies Ventilposition wird für tbd Minuten aufrechterhalten und anschliessend ändert sich die Position des Ventils wieder in die Ausgangssituation.

Tabelle 4: Funktionseinheit 3, Sollfunktionen

Funktionseinheit: 4 (Wärmeübertragerfluid)	
Nr.	Sollfunktion
4.1	Dem Absorber/Desorber wird der geregelt Volumenstrom des Wärmeübertragerfluides zugeführt. Der Volumenstrom ist geregelt und die Temperatur variiert je nach Betriebsanforderung.
4.2	Dem Verdampfer/Kondensator wird der geregelt Volumenstrom des Wärmeübertragerfluides zugeführt. Der Volumenstrom ist geregelt und die Temperatur variiert je nach Betriebsanforderung.

Tabelle 5: Funktionseinheit 4, Sollfunktionen

5.2 Dokumentation PAAG-Studie zu Sollfunktionen

Nachfolgend ist die Dokumentation der PAAG-Studie zu den Sollfunktionen aus dem Kapitel 5.1 in den Tabelle 6 bis Tabelle 20 dargestellt.

Funktionseinheit: 1			
Sollfunktion: 1.1			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
1.1.1	Speichertanks sind nicht befüllt.	Leckage.	Das Sorptiv (Wasser) gelangt in die Umgebung.
1.1.2	Speichertanks sind überfüllt.	Rohrverbindung zwischen den einzelnen Speichertanks sind verstopft.	Druck steigt an, sobald die Tanks voll sind und das Tankmaterial versagt; was zum Sorptivaustritt in die Umgebung führt.
1.1.3	Speichertanks sind unterfüllt.	- Es wird zu viel Sorptiv abgepumpt. - Leckage.	- Das Sorptiv (Wasser) gelangt in die Umgebung.

			- Mit zu wenig Sorptiv ist ein Entladen des Speichers nicht möglich.
1.1.4	Es gelangt ein anderes Medium als das reine Sorptiv in die Speichertanks (Ausgenommen Luft).	Leckage am Wärmeübertrager.	- Die erforderliche Leistung des Kondensators/Verdampfers kann nicht unter normalen Bedingungen erfolgen. - HMX wird mit dem Wärmeübertragerfluid (Wasser) geflutet; was sofort zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt. - Anlage defekt.
1.1.5	Die Zustandsgrößen Druck und Temperatur des Sorptivs ändern sich im Tank. Im Extremfall ändert sich auch der Aggregatzustand.	- Druckanstieg aufgrund von Überfüllung (siehe 1.1.2). - Druckanstieg aufgrund erhöhter Temperatur; entweder starke Erhitzung durch einen Brand, dann kann Verdampfung eintreten (höher als 100°C); oder Erhitzung aufgrund erhöhter Umgebungstemperatur, dann findet kein Wechsel des Aggregatzustandes statt. - Erstarrung des Wassers (Temperatur unter 0°C), dann findet eine Volumen Ausdehnung statt.	- Bei erhöhtem Druck kann das Material der Speichertanks versagen. Dann tritt das Sorptiv in die Umgebung. - <i>Im Falle eines Brandes versagt das Tankmaterial bevor der Druckanstieg aufgrund der Verdampfung zu einer Explosion führt. Das Sorptiv tritt in die Umgebung und kann dann dort verdampfen.</i> - Die Umgebungstemperatur führt nur zu einem nicht nennenswerten Druckanstieg. - Im Falle einer Explosion (Erstarrung bei Überfüllung) aufgrund der Volumenausdehnung können Tankmaterialteile durch den Raum fliegen. Allenfalls führt dies zu einer Beschädigung anderer Tanks. Dann tritt das nicht erstarrte Sorptiv in die Umgebung. - Erstarrt das Sorptiv ohne Explosion führt dies zu dazu, dass das erstarrte Sorptiv

			nicht mehr durch die Pumpe gefördert werden kann, was zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt.
--	--	--	--

Tabelle 6: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 1.1

Funktionseinheit: 1			
Sollfunktion: 1.2			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
1.2.1	Speichertanks sind nicht befüllt.	Leckage.	Das Sorbat (NaOH-Lösung) gelangt in die Umgebung. Es kann ins Abwasser gelangen und lokal zu erhöhten Temperaturen sowie einer Erhöhung des PH-Wertes kommen. Gelangt es in natürliche Gewässer ist dies schädlich für die Wasserorganismen. Beim Austritt können auch Menschen mit dem Sorbat in Kontakt kommen.
1.2.2	Speichertanks sind überfüllt.	Rohrverbindung zwischen den einzelnen Speichertanks sind verstopft.	Druck steigt an, sobald die Tanks voll sind und das Tankmaterial versagt; was zum Austritt von geladenem Sorbat in die Umgebung führt (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1).
1.2.3	Speichertanks sind unterfüllt.	Es wird zu viel geladenes Sorbat abgepumpt. Leckage.	- Das Sorbat gelangt in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1). - Mit zu wenig geladenem Sorbat ist ein Entladen des Speichers nicht möglich.

1.2.4	Es gelangt reines Wasser in die Speichertanks.	Leckage am Wärmeübertrager.	- Die erforderliche Leistung des Absorbers/Desorbers kann nicht unter normalen Bedingungen erfolgen. - HMX wird mit dem Wärmeübertragerfluid (Wasser) geflutet; Was sofort zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt. Es kommt zu einem Temperaturanstieg aufgrund der Lösungswärme. - Anlage defekt.
1.2.5	Es gelangt entladenes Sorbat in die Speichertanks für geladenes Sorbat.	Ventile sind nicht in der richtigen Position und es wird entladenes Sorbat in die Speichertanks gefördert.	- Wird entladenes Sorbat in die Tanks für geladenes Sorbat gefördert, dann durchmischen sich die Lösungen und die Speicherkapazität der Anlage sinkt. - Die Leistungsabgabe kann nicht mehr im Sollbereich stattfinden. - Anlage defekt.
1.2.6	Die Zustandsgrößen Druck und Temperatur des geladenen Sorptivs ändern sich im Tank. Im Extremfall ändert sich auch der Aggregatzustand.	- Druckanstieg aufgrund von Überfüllung (siehe 1.2.2). - Druckanstieg aufgrund erhöhter Temperatur; entweder starke Erhitzung durch einen Brand, dann kann Verdampfung eintreten (höher als 143°C); oder Erhitzung aufgrund erhöhter Umgebungstemperatur, dann findet kein Wechsel des Aggregatzustandes statt. - Erstarrung des geladenen Sorbates (Temperatur unter 12°C), dann findet eine Volumenausdehnung statt.	- Bei erhöhtem Druck kann das Material der Speichertanks versagen. Dann tritt das geladene Sorbat in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1). - <i>Im Falle eines Brandes versagt das Tankmaterial bevor der Druckanstieg aufgrund der Verdampfung zu einer Explosion führt. Das geladene Sorbat tritt in die Umgebung und kann dann dort verdampfen (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1).</i> - Die Umgebungstemperatur führt nur zu einem nicht nennenswerten Druckanstieg. - Im Falle einer Explosion (Erstarrung bei Überfüllung) aufgrund der

			Volumenausdehnung können Tankmaterialteile durch den Raum fliegen. Allenfalls führt dies zu einer Beschädigung anderer Tanks. Dann tritt das nicht erstarrte geladene Sorbat in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1). - Erstarrt das geladene Sorbat ohne Explosion führt dies dazu, dass das erstarrte, geladene Sorbat nicht mehr durch die Pumpe gefördert werden kann, was zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt.
--	--	--	--

Tabelle 7: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 1.2

Funktionseinheit: 1			
Sollfunktion: 1.3			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
1.3.1	Speichertanks sind nicht befüllt.	Leckage.	Das Sorbat (NaOH-Lösung) gelangt in die Umgebung. Es kann ins Abwasser gelangen und lokal zu erhöhten Temperaturen sowie einer Erhöhung des PH-Wertes kommen. Gelangt es in natürliche Gewässer ist dies schädlich für die Wasserorganismen. Beim Austritt können auch Menschen mit dem Sorbat in Kontakt kommen.
1.3.2	Speichertanks sind überfüllt.	Rohrverbindung zwischen den einzelnen Speichertanks sind verstopft.	Druck steigt an, sobald die Tanks voll sind und das Tankmaterial versagt; was zum Austritt von entladene Sorbat in die

			Umgebung führt (Analoge Auswirkung wie bei 1.3.1).
1.3.3	Speichertanks sind unterfüllt.	Es wird zu viel entladenes Sorbat abgepumpt. Leckage.	Das Sorbat gelangt in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.3.1). Mit zu wenig geladenem Sorbat ist ein Entladen des Speichers nicht möglich.
1.3.4	Es gelangt reines Wasser in die Speichertanks.	Leckage am Wärmeübertrager.	- Die erforderliche Leistung des Absorbers/Desorbers kann nicht unter normalen Bedingungen erfolgen. - HMX wird mit dem Wärmeübertragerfluid (Wasser) geflutet; was sofort zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt. Es kommt zu einem Temperaturanstieg aufgrund der Lösungswärme. - Anlage defekt.
1.3.5	Es gelangt geladenes Sorbat in die Speichertanks für entladenes Sorbat.	- Ventile sind nicht in der richtigen Position und es wird geladenes Sorbat in die Speichertanks gefördert.	- Wird entladenes Sorbat in die Tanks für geladenes Sorbat gefördert, dann durchmischen sich die Lösungen und die Konzentration des entladenen Sorbats steigt. Dies führt zu keiner Einschränkung der Anlage. (Ist dies so?) - Es braucht weniger Energie um das Sorbat anschliessend zu laden. (Ist dies so?)
1.3.6	Die Zustandsgrössen Druck und Temperatur des entladenen Sorptivs ändern sich im Tank. Im Extremfall ändert sich auch der Aggregatzustand.	- Druckanstieg aufgrund von Überfüllung (siehe 1.3.2). - Druckanstieg aufgrund erhöhter Temperatur; entweder starke Erhitzung durch einen Brand, dann kann Verdampfung	- Bei erhöhtem Druck kann das Material der Speichertanks versagen. Dann tritt das entladene Sorbat in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.3.1).

		eintreten (höher als 119°C); oder Erhitzung aufgrund erhöhter Umgebungstemperatur, dann findet kein Wechsel des Aggregatzustandes statt. - Erstarrung des geladenen Sorbates (Temperatur unter 3°C), dann findet eine Volumenausdehnung statt.	- Im Falle eines Brandes versagt das Tankmaterial bevor der Druckanstieg aufgrund der Verdampfung zu einer Explosion führt. Das entladene Sorbat tritt in die Umgebung und kann dann dort verdampfen (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1). - Die Umgebungstemperatur führt nur zu einem nicht nennenswerten Druckanstieg. - Im Falle einer Explosion (Erstarrung bei Überfüllung) aufgrund der Volumenausdehnung können Tankmaterialteile durch den Raum fliegen. Allenfalls führt dies zu einer Beschädigung anderer Tanks. Dann tritt das nicht erstarrte entladene Sorbat in die Umgebung (Analoge Auswirkung wie bei 1.2.1). - Erstarrt das geladene Sorbat ohne Explosion führt dies dazu, dass das erstarrte, entladene Sorbat nicht mehr durch die Pumpe gefördert werden kann, was zu einem Leistungseinbruch der Anlage führt.
--	--	--	---

Tabelle 8: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 1.3

Funktionseinheit: 2			
Sollfunktion: 2.1			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung

2.1.1	Dampfdruck stellt sich nicht ein.	- Leckage. - Vakuumpumpe funktioniert nicht korrekt.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
2.1.2	Druck ist zu hoch.	Nicht zu verhindernde Leckageverluste, denn der HMX kann nicht perfekt konstruiert werden.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
2.1.3	Druck ist zu tief.	Vakuumpumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
2.1.4	Dampfdruck stellt sich ein; jedoch steigt der Druck innerhalb kurzer Zeit wieder.	Leckage.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.

Tabelle 9: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 2.1

Funktionseinheit: 2			
Sollfunktion: 2.2			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
2.2.1	Es wird kein Volumenstrom gefördert.	- Leckage. - Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht. - Verstopfung der Rohrleitung.	Es wird keine Leistung im Desorber generiert, da die Sorption nicht stattfindet.
2.2.2	Der geförderte Volumenstrom ist zu hoch.	Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einer Leistungsschwankung im Desorber führt.
2.2.3	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im Desorber führt.

		- Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	
2.2.4	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	Leckage.	Analog zu 1.2.1.
2.2.5	Der Volumenstrom erfolgt in entgegengesetzte Richtung.	Pumpe dreht in die falsche Richtung.	Dies ist nur so lange der Fall, bis die Leitung zwischen HMX und Pumpe leer ist. Danach analog zu 2.2.1.
2.2.6	Es wird hochkonzentrierte NaOH-Lösung gefördert.	- Ventilsteuerung funktionieren nicht korrekt. - Ventilsteuerung funktioniert nicht und Ventile sind in der falschen Position blockiert.	Sorption funktioniert nicht korrekt, oder gar nicht (hängt von der Konzentration ab), was zu einem Leistungsabfall im Desorber führt.

Tabelle 10: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 2.2

Funktionseinheit: 2			
Sollfunktion: 2.3			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
2.3.1	Es sammelt sich keine Lösung am Boden.	- Kein Volumenstrom wird gefördert (siehe 2.2.1). - Leckage.	Es wird keine Leistung im Desorber generiert, da die Sorption nicht stattfindet.
2.3.2	Der Füllstandsensor gibt nicht an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Die Lösung sammelt sich am Boden des Desorbers, bis er überläuft und sich die Lösung im gesamten HMX verteilt. Die Tiefkonzentrierte Lösung reagiert mit dem sich

			im HMX befindenden Sorptiv und es entwickelt sich Wärme. - Die Lösung ist nach der Reaktion nicht mehr vollständig geladen. Was heisst sie muss vor Neustart der Anlage wieder dem ungeladenen Tanksystem beigegeben werden. - Durch den Abpumpvorgang im Kondensator kann sich die Lösung im Sorptivtanksystem verteilen, was wiederum zu einer Reaktion mit Wärmeentwicklung führt. - Funktioniert auch diese nicht, kann der HMX vollständig gefüllt werden. Dies geschieht so lange, bis die Pumpenleistung nicht mehr ausreicht, um eine Druckdifferenz zu generieren. Dann fliesst kein Volumenstrom mehr. Leistungseinbruch des Desorbers. - Ist der HMX gefüllt, könnte die Lösung durch die Vakuumschleuse in die Umgebung gelangen. Dann treten die Auswirkungen wie in 1.2.1 auf.
2.3.3	Der Füllstandsensor gibt immer an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Die Steuerung versucht über die Pumpe ständig den nicht vorhandenen Füllstand abzupumpen. - Die Pumpe läuft mehrheitlich trocken und könnte beschädigt werden.
2.3.4	Die Pumpe fördert kein Volumen.	- Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht.	Analog zu 2.3.2.

		- Verstopfung der Rohrleitung.	
2.3.5	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	- Ist der Volumenstrom gross genug, dass die NaOH-Lösung teilweise abgepumpt wird, dann gibt die Steuerung vermehrt die Anweisung abzupumpen. - Ist der Volumenstrom zu klein, dass weniger NaOH- Lösung abgepumpt wird als zugeführt, dann gibt die Steuerung ständig den Befehl zum Abpumpen. Die analogen Auswirkungen zu 2.3.2 können mit Verzögerung eintreten.
2.3.6	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	Leckage.	Analog zu 1.2.1.
2.3.7	Der Volumenstrom erfolgt in entgegengesetzte Richtung.	Pumpe dreht in die falsche Richtung.	Analog zu 2.3.2.
2.3.8	Der Volumenstrom wird nicht in die Speichertanks für geladenes Sorbat gefördert.	- Leckage. - Ventile sind falsch gestellt.	- Analog zu 1.2.1. - Förderung in die Speichertanks für entladenes Sorbat. Vermischung des entladenen Sorbates mit dem geladenen. Dies Führt zu keiner Einschränkung der Anlage (?), jedoch braucht es weniger Energie, um das Sorbat zu laden. (?)

Tabelle 11: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 2.3

Funktionseinheit: 2	
Sollfunktion: 2.4	

Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
2.4.1	Dem Kondensator wird ein Volumenstrom zugeführt.	Steuerung gibt einen falschen Befehl, denn es müssen diverse Ventile und eine Pumpe angesteuert werden damit dies möglich ist.	Keine Auswirkung, auf den Ladeprozess, sofern alle anderen Funktionen im normalen Betrieb arbeiten.

Tabelle 12: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 2.4

Funktionseinheit: 2			
Sollfunktion: 2.5			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
2.5.1	Kein Sorptiv wird ausgetrieben	Desorber funktioniert nicht.	Der Desorber hat keine Leistung.
2.5.2	Es wird zu viel Sorptiv ausgetrieben.	Desorber funktioniert nicht korrekt.	- Die Lösung kann bei einer Konzentration >50% NaOH kristallisieren und damit den Desorber verstopfen. - Leistungsabfall des Desorbers.
2.5.3	Es wird zu wenig Sorptiv ausgetrieben.	Desorber funktioniert nicht korrekt.	Die Leistung des Desorbers ist zu tief.
2.5.4	Das Sorptiv kondensiert nicht.	Kondensator funktioniert nicht.	- Der Kondensator hat keine Leistung. - HMX füllt sich mit dampfförmigen Sorptiv. Dies führt zu einem Druckanstieg, welcher eine weitere Desorption verhindert. Die Leistung des Desorbers ist dann zu tief.
2.5.5	Es kondensiert zu wenig Sorptiv.	Kondensator funktioniert nicht korrekt.	Die Leistung des Kondensators stimmt nicht.
2.5.6	Der Füllstandsensor gibt nicht an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Das Sorptiv sammelt sich am Boden des Kondensators, bis er überläuft und sich

			das Sorptiv im gesamten HMX verteilt. Das Sorptiv reagiert mit dem sich im HMX befindenden Sorbat und es entwickelt sich Wärme. - Durch den Abpumpvorgang im Desorber kann sich die Lösung im Tanksystem für geladenes Sorbat verteilen, wonach sich nicht vollständig geladenes Sorbat in den geladenen Tanks befindet. - Funktioniert auch diese nicht, erfolgt die Analoge Abfolge wie in 2.3.2.
2.5.7	Der Füllstandsensor gibt immer an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Die Steuerung versucht über die Pumpe ständig den nicht vorhandenen Füllstand abzupumpen. - Die Pumpe läuft mehrheitlich trocken und könnte beschädigt werden.
2.5.8	Die Pumpe fördert kein Volumen.	- Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht. - Verstopfung der Rohrleitung.	Analog zu 2.5.6.
2.5.9	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	- Ist der Volumenstrom gross genug, dass das Sorptiv teilweise abgepumpt wird, dann gibt die Steuerung vermehrt die Anweisung abzupumpen. - Ist der Volumenstrom zu klein, dass weniger Sorptiv abgepumpt wird als kondensiert, dann gibt die Steuerung ständig den Befehl zum Abpumpen. Die analogen

			Auswirkungen zu 2.5.6 können mit Verzögerung eintreten.
2.5.10	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	Leckage.	Analog zu 1.1.1.
2.5.11	Der Volumenstrom wird nicht in die Speichertanks für das Sorptiv gefördert.	- Leckage. - Ventile sind falsch gestellt.	- Analog zu 1.1.1. - Das Sorptiv wird dem Kondensator wieder zugeführt, dies führt zu einer Leistungsabnahme im Kondensator.

Tabelle 13: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 2.5

Funktionseinheit: 3			
Sollfunktion: 3.1			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
3.1.1	Dampfdruck stellt sich nicht ein.	- Leckage. - Vakuumpumpe funktioniert nicht korrekt.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
3.1.2	Druck ist zu hoch.	Nicht zu verhindernde Leckageverluste, denn der HMX kann nicht perfekt konstruiert werden.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
3.1.3	Druck ist zu tief.	Vakuumpumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.
3.1.4	Dampfdruck stellt sich ein; jedoch steigt der Druck innerhalb kurzer Zeit wieder.	- Leckage.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im HMX führt.

Tabelle 14: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 3.1

Funktionseinheit: 3			
Sollfunktion: 3.2			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
3.2.1	Es wird kein Volumenstrom gefördert.	- Leckage. - Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht. - Verstopfung der Rohrleitung.	Es wird keine Leistung im Absorber generiert, da die Sorption nicht stattfindet.
3.2.2	Der geförderte Volumenstrom ist zu hoch.	Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einer Leistungsschwankung im Absorber führt.
3.2.3	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	Sorption funktioniert nicht korrekt, was zu einem Leistungsabfall im Absorber führt.
3.2.4	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	- Leckage.	Analog zu 1.2.1.
3.2.5	Der Volumenstrom erfolgt in entgegengesetzte Richtung.	Pumpe dreht in die falsche Richtung.	Dies ist nur so lange der Fall, bis die Leitung zwischen HMX und Pumpe leer ist. Danach analog zu 3.2.1.
3.2.6	Es wird tiefkonzentrierte NaOH-Lösung gefördert.	- Ventilsteuerung funktionieren nicht korrekt.	Sorption funktioniert nicht korrekt, oder gar nicht (hängt von der Konzentration ab), was zu einem Leistungsabfall im Absorber führt.

		- Ventilsteuerung funktioniert nicht und Ventile sind in der falschen Position blockiert.	
--	--	---	--

Tabelle 15: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 3.2

Funktionseinheit: 3			
Sollfunktion: 3.3			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
3.3.1	Es sammelt sich keine Lösung am Boden.	- Kein Volumenstrom wird gefördert (siehe 3.2.1). - Leckage.	Es wird keine Leistung im Absorber generiert, da die Sorption nicht stattfindet.
3.3.2	Der Füllstandsensor gibt nicht an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Die Lösung sammelt sich am Boden des Absorbers, bis er überläuft und sich die Lösung im gesamten HMX verteilt. Die tiefkonzentrierte Lösung reagiert mit dem sich im HMX befindenden Sorptiv und es entwickelt sich Wärme. Kleinere Wärmeentwicklung als bei 2.3.2, da die Lösung bereits möglichst nahe am Gleichgewichtszustand bei den gegebenen Bedingungen ist. - Die Lösung ist nach der Reaktion vollständig entladen. Was heisst sie kann vor Neustart der Anlage dem ungeladenen Tanksystem beigegeben werden. - Durch den Abpumpvorgang im Verdampfer kann sich die Lösung im

			Sorptivtanksystem verteilen, was wiederum zu einer Reaktion mit Wärmeentwicklung führt. - Funktioniert auch diese nicht, kann der HMX vollständig gefüllt werden. Dies geschieht so lange, bis die Pumpenleistung nicht mehr ausreicht, um eine Druckdifferenz zu generieren. Dann fliesst kein Volumenstrom mehr. Leistungseinbruch des Absorbers. - Ist der HMX gefüllt, könnte die Lösung durch die Vakuumschleuse in die Umgebung gelangen. Dann treten die Auswirkungen wie in 1.2.1 auf.
3.3.3	Der Füllstandsensor gibt immer an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Die Steuerung versucht über die Pumpe ständig den nicht vorhandenen Füllstand abzupumpen. - Die Pumpe läuft mehrheitlich trocken und könnte beschädigt werden.
3.3.4	Die Pumpe fördert kein Volumen.	- Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht. - Verstopfung der Rohrleitung.	Analog zu 3.3.2.
3.3.5	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	- Ist der Volumenstrom gross genug, dass die NaOH-Lösung teilweise abgepumpt wird, dann gibt die Steuerung vermehrt die Anweisung abzupumpen. - Ist der Volumenstrom zu klein, dass weniger NaOH- Lösung abgepumpt wird als zugeführt, dann gibt die Steuerung ständig

			den Befehl zum Abpumpen. Die analogen Auswirkungen zu 3.3.2 können mit Verzögerung eintreten.
3.3.6	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	Leckage.	Analog zu 1.2.1.
3.3.7	Der Volumenstrom erfolgt in entgegengesetzte Richtung.	Pumpe dreht in die falsche Richtung.	Analog zu 3.3.2.
3.3.8	Der Volumenstrom wird nicht in die Speichertanks für entladenes Sorbat gefördert.	- Leckage. - Ventile sind falsch gestellt.	- Analog zu 1.2.1. - Förderung in die Speichertanks für geladenes Sorbat. Vermischung des geladenen Sorbates mit dem entladenen. Dies führt zu einem Verlust der gespeicherten Energie.

Tabelle 16: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 3.3

Funktionseinheit: 3			
Sollfunktion: 3.4			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
3.4.1	Es wird kein Volumenstrom gefördert.	- Leckage. - Pumpe funktioniert nicht. - Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. - Ventilsteuerung funktioniert nicht. - Verstopfung der Rohrleitung.	- Analog zu 1.1.1. - Es wird keine Leistung im Verdampfer benötigt, da keine Verdampfung stattfindet. Dadurch findet auch keine Sorption statt, der Absorber generiert keine Leistung.

3.4.2	Der geförderte Volumenstrom ist zu hoch.	Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss.	Es wird eine zu hohe Leistung im Verdampfer benötigt. Sorption findet normal statt.
3.4.3	Der geförderte Volumenstrom ist zu tief.	- Pumpe arbeitet nicht ordnungsgemäss. Verstopfung der Rohrleitung, allenfalls auch Fehlstellung der Ventile (zu hohe Verluste).	Es wird eine zu tiefe Leistung im Verdampfer benötigt. Sorption findet nicht normal statt, was zu einem Leistungsabfall im Absorber führt.
3.4.4	Der Volumenstrom wird zusätzlich an die Umgebung gefördert.	Leckage.	Analog zu 1.1.1.
3.4.5	Der Volumenstrom erfolgt in entgegengesetzte Richtung.	Pumpe dreht in die falsche Richtung.	Dies ist nur so lange der Fall, bis die Leitung zwischen HMX und Pumpe leer ist. Danach analog zu 3.4.1.

Tabelle 17: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 3.4

Funktionseinheit: 3			
Sollfunktion: 3.5			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
3.5.1	Es wird ein Luft-Sorptiv-Gemisch gefördert.	Leckage.	- Zu wenig Sorptiv wird verdampft. Leistungsabfall im Verdampfer. - Die geförderte Luft erhöht den Druck im HMX, Vakuumpumpe wird vermehrt eingeschalten.
3.5.2	Der Füllstandsensor gibt nicht an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	- Das Sorptiv sammelt sich am Boden des Verdampfers, bis er überläuft und sich das Sorptiv im gesamten HMX verteilt. Das

			Sorptiv reagiert mit dem sich im HMX befindenden Sorbat und es entwickelt sich Wärme. Kleinere Wärmeentwicklung als bei 2.3.2, da das meiste Sorbat bereits möglichst nahe am Gleichgewichtszustand bei den gegebenen Bedingungen ist. - Das Sorbat ist nach der Reaktion vollständig entladen. Was heisst es kann vor Neustart der Anlage dem ungeladenen Tanksystem beigegeben werden. - Durch den Abpumpvorgang im Absorber kann sich das Sorptiv im Tanksystem für entladenes Sorptiv verteilen, was die Konzentration des entladenen Sorbates weiter verringert. Durch die Reaktion entsteht Wärme. - Funktioniert auch diese nicht, kann der HMX vollständig gefüllt werden. Dies geschieht so lange, bis die Pumpenleistung nicht mehr ausreicht, um eine Druckdifferenz zu generieren. Dann fliesst kein Volumenstrom mehr. Leistungseinbruch des Verdampfers. - Ist der HMX gefüllt, könnte die Lösung durch die Vakuumschleuse in die Umgebung gelangen. Dann treten die Auswirkungen wie in 1.2.1 auf.
3.5.3	Der Füllstandsensor gibt immer an.	Füllstandsensor funktioniert nicht.	Die Steuerung will ständig gesammeltes Sorptiv rezyklieren. Dies funktioniert so lange, bis kein flüssiges Sorptiv mehr im

			HMX vorhanden ist. Danach analog zu 3.4.1.
3.5.4	Ventil schaltet nicht um (Saugseite Pumpe – Sorptiv Tanksystem zu Saugseite Pumpe – HMX Verdampfer).	Ventil funktioniert nicht.	Analog zu 3.5.2.
3.5.5	Ventil schaltet nicht um (Saugseite Pumpe – HMX Verdampfer zu Saugseite Pumpe – Sorptiv Tanksystem).	Ventil funktioniert nicht.	Analog zu 3.5.3.
3.5.6	Ventil öffnet nicht vollständig (Für beide beschriebenen Seiten in 3.5.4 und 3.5.5).	Ventil funktioniert nicht korrekt.	- Zuerst wird der Volumenstrom wird verringert, weil mehr Verluste in der Leitung vorhanden sind. Dann braucht die Pumpe mehr Leistung, um dies zu korrigieren. - Verdampfung läuft so lange normal, wie die Pumpenleistung für den benötigten Volumenstrom ausreicht. - Ansonsten gibt es einen Leistungseinbruch im Verdampfer.

Tabelle 18: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 3.5

Funktionseinheit: 4			
Sollfunktion: 4.1			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
4.1.1	Der Volumenstrom ist nicht vorhanden.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.

4.1.2	Der Volumenstrom ist zu hoch.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.1.3	Der Volumenstrom ist zu tief.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.1.4	Die Temperatur ist zu hoch.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.1.5	Die Temperatur ist zu tief.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.

Tabelle 19: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 4.1

Funktionseinheit: 4			
Sollfunktion: 4.2			
Nr.	Abweichung	Ursache	Auswirkung
4.2.1	Der Volumenstrom ist nicht vorhanden.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.2.2	Der Volumenstrom ist zu hoch.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.2.3	Der Volumenstrom ist zu tief.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.2.4	Die Temperatur ist zu hoch.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.
4.2.5	Die Temperatur ist zu tief.	Probleme in der Gebäudesteuerung, wird hier nicht weiter betrachtet.	Leistungsänderung im HMX.

Tabelle 20: Dokumentation zum PAAG-Verfahren für die Sollfunktion 4.2

6 Beurteilung der Risiken

6.1 Risikomatrix: Aufbau

Für die Risikomatrix wurde eine typische Achseneinteilung der chemischen Industrie gewählt. Auf der Ordinate befindet sich das Schadensausmass S, wovon die Beurteilung in Tabelle 21 zu sehen ist. Die Abszisse bildet die Eintrittshäufigkeit F, wovon die Beurteilung in Tabelle 22 ersichtlich ist. Um das Risiko zu beurteilen, wird die Risikomatrix in verschiedene Bereiche unterteilt, welche als Risikoklassen definiert wurden. Die Einteilung der Risikoklassen ist in Tabelle 23 ersichtlich. Ebenfalls wurde für jede Risikoklasse das notwendige Massnahmenkonzept erläutert.

Klasse	Wertung	Personenschaden	Umweltschaden
S0	Sehr hoch	Potenzial für viele Todesfälle	Potenzial für schwerwiegende langfristige Umweltschäden
S1	Hoch	Potential für einzelne Todesfälle	Potenzial für ernsthafte oder langfristige Umweltschäden
S2	Signifikant	Potenzial für einen oder mehrere Schwerverletzte (irreversibel)	Potenzial für erhebliche Umweltschäden
S3	Moderat	Potenzial für einen oder mehrere Verletzte (reversibel)	Potenzial für zeitlich und räumlich begrenzte Umweltschäden
S4	Gering	Potenzial für leichte Verletzungen oder Belästigungen	Potenzial für kleine, nicht meldepflichtige Umweltschäden

Tabelle 21: Skalierung der Ordinate der Risikomatrix

Klasse	Wertung	Erwartete Häufigkeit in Relation zur Laufzeit der Anlage	Erwartete Häufigkeit pro Jahr in überschaubaren Zeiträumen
F0	Sehr häufig	Tritt öfter während der Betriebslaufzeit ein	1 x pro Jahr oder öfter
F1	Häufig	Kann gelegentlich während der Betriebslaufzeit eintreten	zwischen 1 x pro Jahr und 1 x in 10 Jahren
F2	Selten	Könnte gegebenenfalls während der Betriebslaufzeit eintreten	zwischen 1 x in 10 Jahren und 1 x in 100 Jahren
F3	Sehr selten	Nicht zu erwarten, aber denkbar, dass das Ereignis während der Betriebslaufzeit eintritt	seltener als alle 100 Jahre

F4	Unwahrscheinlich	Nahezu ausgeschlossen, dass das Ereignis während der Betriebslaufzeit eintritt	Nicht mehr in überschaubaren Zeiträumen darstellbar
F5	Nicht plausibel	Vernünftigerweise auszuschließen	

Tabelle 22: Skalierung der Abszisse der Risikomatrix

Risiko-klasse	Massnahmenkonzept	Erläuterung
A	Substitution	Änderung des Verfahrens erforderlich
B	Hohe mechanische Integrität	Möglichst Verfahrens- oder Design-Änderung
C	Sehr hohe Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit sehr hoher Zuverlässigkeit
D	Hohe Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit hoher Zuverlässigkeit
E	Erhöhte Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit erhöhter Zuverlässigkeit
F	Keine Massnahmen; Akzeptables Risiko	

Tabelle 23: Risikoklassen der Risikomatrix

6.2 Risikomatrix: Beurteilung der Risiken

Alle Auswirkungen der Abweichungen, welche im PAAG-Verfahren ermittelt wurden, wurden nach Schadensausmass S und Eintrittshäufigkeit F beurteilt. Das Ergebnis der Beurteilung hat ergeben, dass sich alle kritischen Abweichungen in zwei Gruppen aufteilen lassen, welchen das gleiche Risiko zukommt. Die Gruppen wurden Abweichungen I und II genannt und sind in der Risikomatrix den entsprechenden Risikoklassen zugeteilt (siehe Tabelle 24). Die kritischen Abweichungen sind wie folgt den Gruppen zugeteilt:

Abweichungen I:

- 1.2.1
- 1.2.3
- 1.3.1
- 1.3.3
- 2.2.4
- 2.3.2
- 2.3.4
- 2.3.6

- 2.3.7
- 2.5.6
- 2.5.8
- 3.2.4
- 3.3.2
- 3.3.4
- 3.3.6
- 3.3.7
- 3.3.8
- 3.5.2
- 3.5.4

Abweichungen II:

- 1.2.2
- 1.3.2

S0						
S1					Abweichungen I	
S2	Abweichungen II					
S3						
S4						
	F5	F4	F3	F2	F1	F0

Risikoklasse	
A	
B	
C	
D	
E	
F	

Tabelle 24: Risikomatrix

Die Gruppe der Abweichungen II fällt auf die Risikoklasse F, welche keine Massnahmen erfordert. Die Gruppe der Abweichungen I fällt auf die Risikoklasse C, welche nach Kapitel 6.1 ein Massnahmenkonzept mit sehr hoher Zuverlässigkeit braucht.

7 Notwendige Schutzmassnahmen

Die kritischen Abweichungen sind wiederum in Schutzgruppen zu unterteilen, in welchen dieselben Komponenten zum Schaden führen.

Schutzgruppe I

Die Abweichungen 1.2.1, 1.2.3, 1.3.1 und 1.3.3 beziehen sich auf eine Leckage an den Tanks. Es ist zu verhindern, dass die Tanks Leckagen aufweisen. Im Falle einer Leckage ist es zu verhindern, dass die Medien ungehindert in die Umgebung und Umwelt gelangen können.

Schutzgruppe II

Die Abweichungen 2.2.4, 3.2.4, 3.3.6 und 3.3.8 beziehen sich auf eine Leckage am HMX. Eine Leckage am Gehäuse des HMX ist aufgrund der Konstruktion höchst unwahrscheinlich, jedoch stellen die Flanschverbindungen ein Risiko dar. Es ist zu verhindern, dass die Flanschverbindungen ein Leck aufweisen. Im Falle einer Leckage ist es zu verhindern, dass die Medien ungehindert in die Umgebung und Umwelt gelangen können.

Schutzgruppe III

Die Abweichungen 2.3.2, 2.5.6, 3.3.2 und 3.5.2 beziehen sich auf das Versagen der Füllstandsensoren im HMX. Das Versagen ist nicht zu verhindern, weshalb ein Versagen der Füllstandsensoren von der Anlage abgefangen werden muss.

Schutzgruppe IV

Die Abweichungen 2.3.4, 2.3.7, 2.5.8, 3.3.4 und 3.3.7 beziehen sich auf die Pumpen, welche Sorbat oder Sorptiv aus dem HMX abpumpen. Ein Ausfall einer Pumpe ist nicht zu verhindern, weshalb der Ausfall von der Anlage abgefangen werden muss. Eine Fehlfunktion, respektive die Pumpe dreht in die falsche Richtung oder fördert kein Volumen muss ebenfalls von der Anlage abgefangen werden.

Schutzgruppe V

Die Abweichung 3.5.4 bezieht sich auf eine Fehlstellung der Ventile auf der Seite des Verdampfers. Die kritische Fehlstellung der Ventile führt zum identischen Schaden wie in der Schutzgruppe IV. Eine Fehlstellung der Ventile ist von der Anlage abzufangen.

8 Umsetzung der Schutzmassnahmen

Die Umsetzung der Schutzmassnahmen wird einzeln für die in Kapitel 7 definierten Schutzgruppen erläutert. Die Sensor- und Aktorangaben sind dem Kapitel 4.6 und die Relaisangaben der Abbildung 5 zu entnehmen.

Massnahmen zur Schutzgruppe I

Die Tanks bestehen aus PE-HD (Polyethylen hoher Dichte), was gegen NaOH beständig ist. Tritt aus Alterungsgründen trotzdem ein Leck auf, wird die auslaufende Flüssigkeit über eine Auffangwanne unter den Tanks aufgefangen. Die Wanne hat ein Fassungsvermögen von **XX** L und kann somit 100% der gelagerten Flüssigkeit aufnehmen. Eine Flanschleckage wird ebenfalls darüber abgesichert.

Die Wanne selbst ist mit einem Füllstandsensor (B19.2) ausgestattet, welcher eine Leckage sofort detektiert. Dieser Sensor ist über das Sicherheitsrelais K19.3 im Stromfluss zur Steuerung

eingebunden. Sobald der Sensor etwas misst, schaltet das Relais und die Steuerung wird vom Strom getrennt. *Ergänzen so bald Tanksystem, Wanne und Sensor definiert sind.*

Massnahmen zur Schutzgruppe II

Über *Material zu ergänzen* Dichtungen in den Flanschverbindungen wird ein Austreten der NaOH-Lösung verhindert. *Material* ist gegen NaOH beständig und unterbindet auch dessen Kriechverhalten. Tritt trotzdem eine Leckage auf, Montagefehler, unerwartetes Material versagen, usw., dann wird die auslaufende Flüssigkeit über eine Auffangwanne unter der gesamten Anlage aufgefangen. Die Wanne hat ein Fassungsvermögen von **XX** L und kann somit 100% der gelagerten Flüssigkeit aufnehmen.

Die Wanne selbst ist mit einem Füllstandsensor (B19.2) ausgestattet, welcher eine Leckage sofort detektiert. Dieser Sensor ist über das Sicherheitsrelais K19.3 im Stromfluss zur Steuerung eingebunden. Sobald der Sensor etwas misst, schaltet das Relais und die Steuerung wird vom Strom getrennt. *Ergänzen so bald, Wanne und Sensor definiert sind.*

Massnahmen zur Schutzgruppe III

Der Ausfall des Füllstandsenors B18.2 wird über einen zusätzlichen Füllstandsensor B20.4 abgefangen, welcher **XX** mm höher als B18.2 montiert ist. Der Ausfall des Füllstandsenors B18.4 wird über einen zusätzlichen Füllstandsensor B20.6 abgefangen, welcher **XX** mm höher als B18.4 montiert ist. Die Sensoren B20.4 und B20.6 sind über die Sicherheitsrelais K20.5 und K20.7 im Stromfluss zur Steuerung eingebunden. Sobald einer der Sensoren etwas misst, schaltet das verbundene Relais und die Steuerung wird vom Strom gekappt.

Massnahmen zur Schutzgruppe IV

Um einen Ausfall einer Pumpe (M10.6 und M9.6) zu erkennen, kommuniziert die Steuerung bei jedem Befehl an die Pumpe mit ihr. Reagiert sie nicht wie erwartet, schaltet die Anlage aus. Reagiert die Pumpe, aber arbeitet nicht, kann der gleiche Schaden wie bei der Schutzgruppe III auftreten. Dieser Fall wird über die Steuerung mit den Füllstandsensoren B18.2 und B18.4 abgefangen und die Anlage wird ausgeschaltet. Im Weiteren ist die Fördermenge der Pumpe M10.6 zusätzlich über das Durchflussmessgerät B17.8 überwacht. Wird kein Durchfluss gemessen, obwohl die Pumpe M10.6 fördern sollte, wird die Anlage von der Steuerung ausgeschaltet.

Massnahmen zur Schutzgruppe V

Der Schaden, welcher durch die Ventile M12.7 und M13.7 verursacht wird, tritt auf, wenn M12.7, M13.7 oder beide die entsprechende Fehlstellung haben. Die kritische Fehlstellung führt zum gleichen Schaden wie bei der Schutzgruppe III. Die Fehlstellung dieser Ventile wird über die Steuerung mit dem Füllstandsensor B18.4 abgefangen.

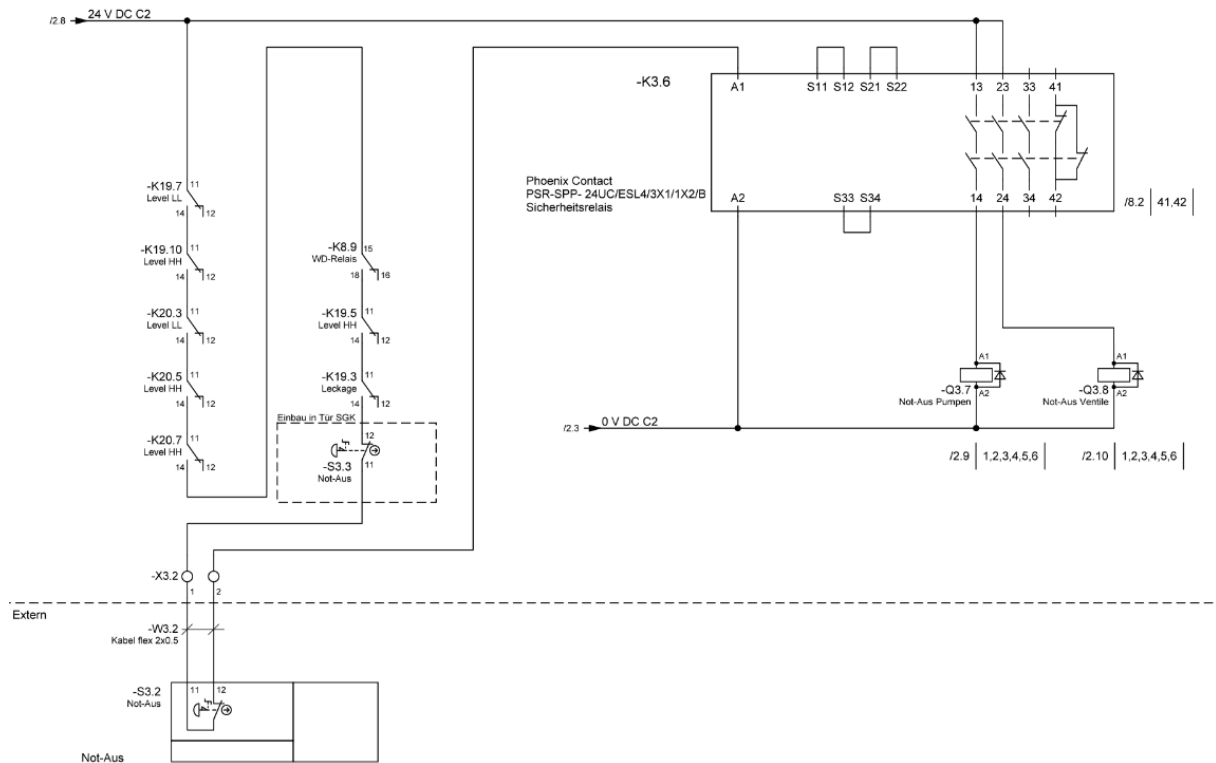


Abbildung 5: Stromlaufschema Sicherheitsrelais

9 Externe Risiken

In diesem Kapitel werden Risiken behandelt, welche nicht aufgrund einer Fehlfunktion der Anlage auftreten können. Dies sind umgebungs- und umweltbedingte Risiken.

9.1 Mögliche Risiken

Im Folgenden sind die Ereignisse, welche eintreten könnten, aufgelistet.

- **Externes Risiko I:** Brand im Gebäude
- **Externes Risiko II:** Starker Sturm
- **Externes Risiko III:** Hochwasser
- **Externes Risiko IV:** Erdbeben
- **Externes Risiko V:** Montage/Wartung

9.2 Analyse der Gefahren durch externe Risiken

Externes Risiko I

Ein Brand im Gebäude kann immer auftreten, jedoch befindet sich die Anlage in einem geschlossenen Raum, in welchem nur wenig brennbare Materialien gelagert sind. Zudem ist praktisch die ganze Anlage, inkl. NaOH-Lösung, nicht brennbar. Die Speichertanks sind hier die Ausnahme, denn sie beginnen bei 125 °C zu schmelzen/brennen. Aufgrund dessen ist ein Brand, der die Tanks zum Schmelzen bringt, sehr unwahrscheinlich und dieses Risiko braucht keine zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen.

Externes Risiko II

Aufgrund der Gebäudestatik besteht bei einem starken Sturm keine Gefahr für die Anlage. Es besteht kein Bedarf nach zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen aufgrund von diesem Risiko.

Externes Risiko III

Das Gebäude besteht aus einem massiven Skelettbau, welcher bei Hochwasser nicht einsturzgefährdet ist. Zusätzlich befindet sich die Anlage 3.3m über dem Boden, was ein Kontakt mit Wasser im Fall eines Hochwassers äusserst unwahrscheinlich macht. Es besteht kein Bedarf nach zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen aufgrund von diesem Risiko.

Externes Risiko IV

Dem schweizerischen Erdbebendienst nach befindet sich Frauenfeld in der Erdbebenzone 1a. Dies ist die am wenigsten gefährdete Zone in der Schweiz. Aus diesem Grund ist ein Erdbeben in der Region Frauenfeld nicht zu erwarten. Es besteht kein Bedarf nach zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen aufgrund von diesem Risiko.

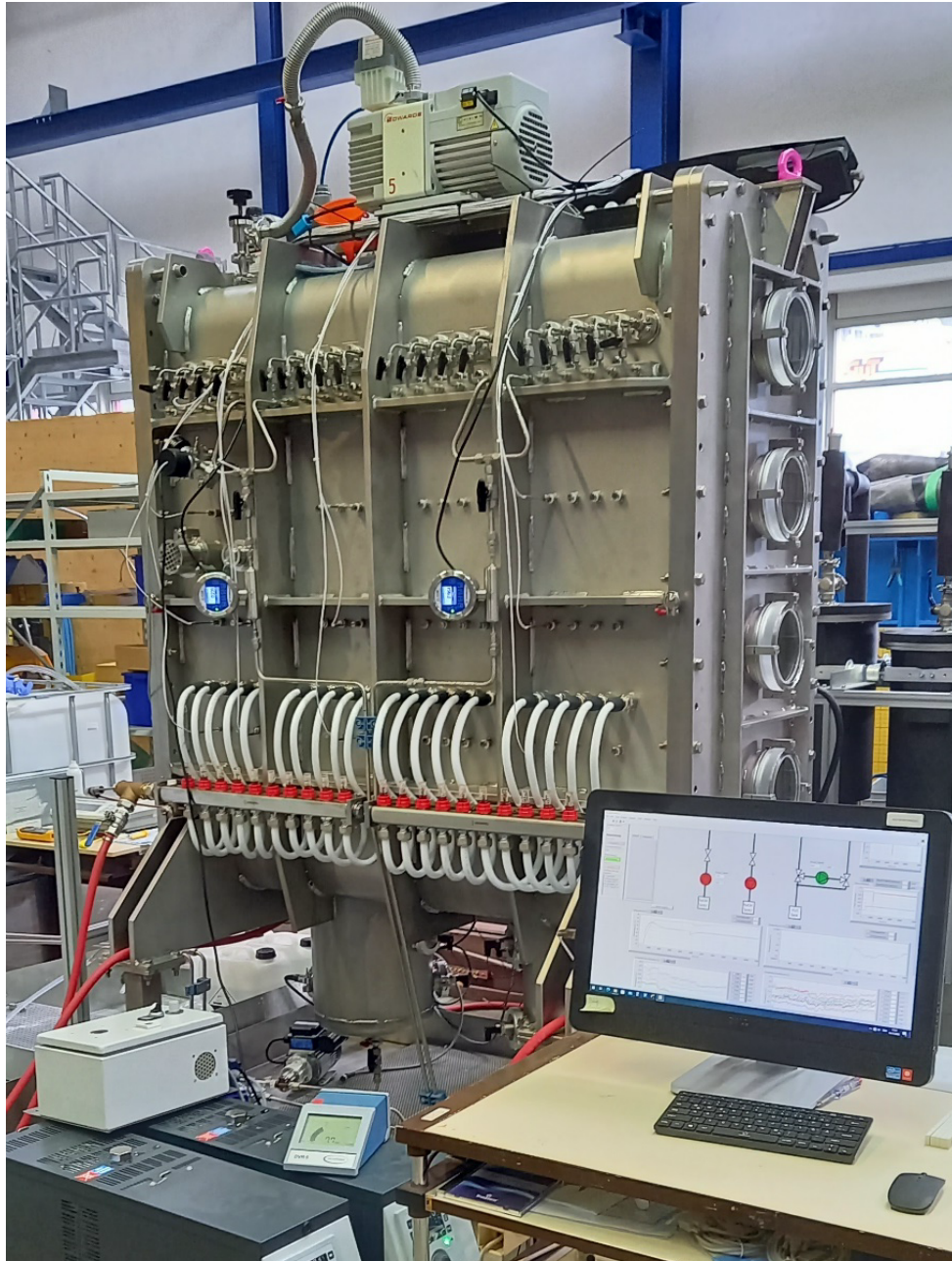
Externes Risiko V

Die Montage sowie die Wartung dieser Pilotanlage wird ausschliesslich durch Personen, welche in das Projekt involviert sind, durchgeführt. Somit darf jede Person, welche an der Anlage arbeitet, als ausgebildetes Personal betrachtet werden. Aus diesem Grund besteht kein Bedarf für zusätzliche Sicherheitsmassnahmen aufgrund von diesem Risiko.

10 Konformitätserklärung und Bedienungsanleitung

Messkonzept

Pilotprojekt Frauenfeld



Autoren: Janosch Güntensperger, Giulio Meuli, Benjamin Fumey Angeal Wicki, Johanna Pöhler, Isabel Rosa Müggler Zumstein

Datum: 13.09.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage.....	4
1.2	Ziele	4
2	Messungen	5
2.1	Zielgrößen.....	5
2.2	Messgrößen.....	5
2.3	Technische Spezifikation zu den Komponenten	6
3	Betriebsmodi	6
3.1	Laden (Desorption).....	6
3.2	Heizen (Absorption)	6
3.3	Warmwassererzeugung (Absorption).....	6
4	Umsetzung im Labor.....	7
4.1	Strombedarf der WP im Winter.....	7
4.2	Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer durch die SWP	7
4.3	Temperaturhub der SWP	8
4.4	Heizleistung/Ladeleistung der SWP	8
4.5	Energiedichte Natronlauge	8
4.6	Speicherwirkungsgrad	9
4.6.1	Energetisch	9
4.6.2	Exergetisch	9
4.7	Kosten (TCO)	9
4.8	Erzeugte Menge an CO ₂	9
5	Umsetzung im Gebäude	10
5.1	Strombedarf der WP im Winter.....	10
5.2	Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer durch die SWP	10
5.3	Temperaturhub der SWP	10
5.4	Heizleistung/Ladeleistung der SWP	10
5.5	Energiedichte Natronlauge	10
5.6	Speicherwirkungsgrad	10
5.7	Kosten (TCO)	11
5.8	Erzeugte Menge an CO ₂	14
6	Ergebnisse im Labor	15
6.1	Laden	15
6.1.1	2 g/min	15
6.1.2	4 g/min	15
6.1.3	6 g/min	15
		2

6.2	Heizen und Warmwasser	15
6.2.1	2 g/min	15
6.2.2	4 g/min	15
6.2.3	6 g/min	16
7	Ergebnisse im Gebäude.....	16
7.1	Laden	16
7.2	Heizen und Warmwasser	16
7.3	Zielgrößen.....	16
8	Vergleich.....	17
8.1	Vergleichssystem WP.....	17
8.1.1	Stromverbrauch im Winter / Sommer	17
8.1.2	Kosten (TCO).....	18
8.1.3	Erzeugte Menge an CO2	18
8.2	Vergleichssystem WP mit Wasserstoffspeicher	18
8.2.1	Stromverbrauch im Winter.....	18
8.2.2	Stromverbrauch im Sommer	18
8.2.3	Kosten (TCO).....	19
8.2.4	Erzeugte Menge an CO2	19
8.3	Vergleichssystem 100% SolarLCA und HyTES.....	19
9	Business Case.....	20
10	Produktakzeptanz.....	22
11	Schema Sorptionsspeicher Wärmepumpe.....	23
12	Schema Gebäudeintegration	24
13	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	25
14	Literaturverzeichnis	27

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In diesem Projekt wird die Funktionalität einer Sorptionsspeicher-Wärmepumpe für die Wärmeübertragung vom Sommer in den Winter in einem Gebäude demonstriert. Die SWP setzt die gespeicherte Wärme frei, wenn die Wärmepumpe Strom vom Netz beziehen muss, um den Heizbedarf zu decken. Wenn die PV-Anlage genügend Strom zum Heizen des Gebäudes zur Verfügung stellt, wird der Bedarf mittels Wärmepumpe gedeckt.

Die Stadt Frauenfeld hat ein neu errichtetes Gebäude für die Integration einer saisonalen Sorptionsspeicher-Wärmepumpe vorbereitet. An der HSLU wird auf diesem Gebiet geforscht und entwickelt, eine Proof-of-Concept-Anlage im Massstab eines Einfamilienhauses wurde gebaut und im Labor erfolgreich betrieben. In Zusammenarbeit mit der Firma Matica AG und aufbauend auf den Arbeiten des vom BFE geförderten Projektes SI/501605-01 wird nun ein Felddemonstrator gebaut, installiert und betrieben. Aus diesen Arbeiten werden wertvolle Erkenntnisse zur Systemintegration der Sorptionsspeicher-Wärmepumpe in die Gebäudeumgebung sowie Betriebserfahrungen gewonnen.

Diese Sorptionsspeicher-Wärmepumpentechnologie hat das Potenzial, den winterlichen Strombedarf von Gebäuden für Heizzwecke deutlich zu reduzieren und somit als kostengünstige Speicherlösung einen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Der Demonstrator wird für Besichtigungen zur Verfügung stehen und dazu dienen, die Öffentlichkeit über diese neue Speichertechnologie aufzuklären.

1.2 Ziele

Allgemein

- Demonstration der Funktionstüchtigkeit der Sorptionsspeicher-Wärmepumpe ausserhalb des Labors mittels Vergleiches der Speicherwirkungsgrade η_{el} , η_{th} gemäss Kp. 4.6.
- Vergleich der Leistung der Sorptionsspeicher-Wärmepumpe $\dot{Q}_H$ gemäss Kp. 4.4 im Gebäude mit dem Labor.
- Die Schnittstellen zur Integration der SWP in das Heizungssystem definieren.
- Reduktion der Sensorik im autonomen Betrieb.
- Evaluation der Produktakzeptanz.

Technisch

- Messung des maximalen Temperaturhub ΔT_{BTH} der SWP gemäss Kp. 4.3.
- Erfassung der Energiedichte ω gemäss Kp. 4.5, bei variablen Temperaturhuben.
- Optimum zwischen hohem Temperaturhub ΔT_{BTH} gemäss Kp. 4.3 und hoher Energiedichte ω gemäss Kp. 4.5 bestimmen.
- Erfassung der Maximale Lade-, und Entladeleistungen $\dot{Q}_H$, $\dot{Q}_{La}$ gemäss Kp. 4.4.
- Bestimmung des thermischen und elektrischen Speicherwirkungsgrade η_{el} , η_{th} gemäss Kp. 4.6.

2 Messungen

Um die oben genannten Ziele zu erreichen/verifizieren müssen Messungen gemacht werden. Dabei interessieren vier Fragen.

1. Welches Potential / Welchen Nutzen hat die SWP? / Business Case
2. Was muss dafür aufgewendet werden?
3. Wie verhalten sich die Prozessparameter?
4. Wie steht die Technologie im Vergleich zu anderen da?

Um diese Fragen zu beantworten, werden die nachfolgenden Zielgrößen benötigt. Wobei sich diese aus den Messgrößen herleiten lassen.

2.1 Zielgrößen

Nr.	Zielgrösse	Symbol	Einheit	Frage
1	Strombedarf der WP zum Heizen /für das BWW	$E_{el,WP,H}$	kWh	1 / 4
2	Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer durch die SWP	$E_{el,WP,La}$	kWh	2
3	Temperaturhub der SWP	ΔT_{BTH}	K	3
4	Heizleistung/Ladeleistung der SWP	$\dot{Q}_H, \dot{Q}_{La}$	kW	3
5	Energiedichte der Natronlauge	ω	kWh/m ³	4
6	Speicherwirkungsgrad (Kp. 4.6)	η_{el}, η_{th}	%	4
7	Kosten (TCO)	K_{TCO}	CHF/kWh	1 / 4
8	CO2-Emissionen	m_{CO_2}	t-CO2/kWh	1 / 4

2.2 Messgrößen

In der nachfolgenden Tabelle werden alle Messgrößen aufgelistet, die für die Zielgrößen oder für die Vergleichsprozesse verwendet werden. Wobei alle Messgrößen Nr. X.Y zur Zielgrösse Nr. X gehören. Die Messwerte sollen **minütlich** abgespeichert werden.

Nr.	Messgrösse	Symbol	Sensor	Einheit
1.1	Leistungsaufnahme der WP (Heizen und BWW)	$P_{el,WP,H}$	Steuerung	kW
2.1	Leistungsaufnahme der WP zum Laden der SWP	$P_{el,WP,L}$	Steuerung	kW
3.1	Temperatur Absorber / Desorber Out (1.3)	$T_{A,out}, T_{D,out}$	B14.2	°C
3.2	Temperatur Absorber / Desorber In (1.4)	$T_{A,in}, T_{D,in}$	B14.4	°C
3.3	Temperatur Verdampfer / Kondensator In	$T_{V,in}, T_{K,in}$	B14.9	°C
4.1	Temperatur Absorber / Desorber Out (1.3)	$T_{A,out}, T_{D,out}$	B14.2	°C
4.2	Temperatur Absorber / Desorber In (1.4)	$T_{A,in}, T_{D,in}$	B14.4	°C
4.3	Volumenstrom Heizwasser (1.5)	$\dot{V}_{HW}$	AD01-BJ01	l/min
5.1	Vorlauftemperatur Heizung (1.3)	$T_{H,in}$	B14.2	°C
5.2	Rücklauftemperatur Heizung (1.4)	$T_{H,out}$	B14.4	°C
5.3	Volumenstrom Heizwasser (1.5)	$\dot{V}_{HW}$	AD01-BJ01	l/min
5.4	Massenstrom Natronlauge	$\dot{m}_{NaOH,in}$	B17.3	kg/h
5.5	Anfangskonzentration	C_{in}	B17.3	wt%
5.6	Endkonzentration	C_{out}	B17.8	wt%
6.1	Leistungsaufnahme der WP (Heizen und BWW)	$P_{el,WP,H}$	Steuerung	kW
6.2	Leistungsaufnahme der WP zum Laden der SWP	$P_{el,WP,La}$	Steuerung	kW
6.3	Temperatur Absorber / Desorber Out (1.3)	$T_{A,out}, T_{D,out}$	B14.2	°C
6.4	Temperatur Absorber / Desorber In (1.4)	$T_{A,in}, T_{D,in}$	B14.4	°C
6.5	Volumenstrom Heizwasser (1.5)	$\dot{V}_{HW}$	AD01-BJ01	l/min
6.6	Umgebungstemperatur	T_U	Steuerung	°C

7.1	Investitionskosten	K_{Inv}	-	CHF
7.2	Leistungsaufnahme der WP zum Laden der SWP	$P_{el,WP,La}$	Steuerung	kW
7.3	Wartungskosten	K_{Wart}	-	CHF
8.1	Leistungsaufnahme der WP (Heizen und BWW)	$P_{el,WP,H}$	Steuerung	kW
8.2	Leistungsaufnahme der WP zum Laden der SWP	$P_{el,WP,La}$	Steuerung	kW

2.3 Technische Spezifikation zu den Komponenten

Komponente	Grösse	Wert	Einheit	Bemerkung
Wärmepumpe	Heizleistung	5	kW (th)	Abschätzung aufgrund der Heizleistung und einem COP von 4
Wärmepumpe	Elektrische Leistungsaufnahme	1.25	kW (el)	
PV-Anlage	Peekleistung	37.35	kWp	
SWP	Heizleistung SWP	6	kW (th)	

3 Betriebsmodi

Der Betrieb der SWP kann in drei Modi unterteilt werden.

3.1 Laden (Desorption)

Im Sommer, wenn überschüssige Solarenergie vorhanden ist, soll die SWP geladen werden. Das bedeutet, dass der überschüssige Solarstrom dazu verwendet wird, Natronlauge aufzukonzentrieren. So kann das Arbeitspotential, Wärme bei tiefer Temperatur aufzunehmen und bei höherer Temperatur wieder abzugeben, gespeichert werden.

Um Betriebsschwankungen (z.B. Tag/Nacht-Unterschied) auszugleichen, soll zusätzlich zur PV-Anlage eine Batterie in das System integriert werden. Da beim bestehenden Projekt keine Batterie verbaut wird, soll eine virtuelle Batterie in die Software integriert werden. Ist diese virtuelle Batterie genügend geladen, kann die SWP betrieben werden, auch wenn kein oder zu wenig Solarstrom erzeugt wird.

3.2 Heizen (Absorption)

Beim Heizen wird die SWP in Serie mit einer elektrisch WP eingesetzt. So kann die WP, Wärme bei tieferer Temperatur bereitstellen und muss einen geringeren Temperaturhub realisieren, wodurch sie weniger Strom benötigt. Dabei ist das Ganze so umgesetzt, dass die Wärmequellentemperatur für die SWP flexibel einstellbar ist.

Die SWP wird nur dann in Betrieb genommen, wenn die Wärmepumpe Strom vom Netz beziehen muss. Wenn die PV-Anlage genügend Strom zum Heizen des Gebäudes liefert, soll die WP den Heizbedarf allein decken.

3.3 Warmwassererzeugung (Absorption)

Die Warmwassererzeugung ist vom Prinzip her gleich wie der Heizbetrieb und werden somit über die gleichen Messpunkte erfasst. Der einzige Unterschied ist, dass hier höhere Temperaturen von ca. 60°C benötigt werden.

4 Umsetzung im Labor

Im Labor werden „Steady State“-Messungen gemacht. Dabei werden jeweils der Massenstrom an Natronlauge pro Wendelrohr und die Temperaturen beim Verdampfer/Kondensator und Absorber/Desorber eingestellt.

Es werden folgende Massenströme an Natronlauge pro Wendelrohr gemessen. Dabei bezieht sich die Angabe jeweils auf Natronlauge mit 50 wt% NaOH.

- 2 g/min
- 4 g/min
- 6 g/min

Die Temperaturen orientiert sich an der von B. Fumey und L. Baldini vorgeschlagenen Prüfrichtlinie. [1]

Prozess		Eingangstemperatur	Ausgangstemperatur
Ladeprozess	Desorption	95 °C	92 °C
	Kondensation	30 °C	35 °C
Entladeprozess	Absorption	30 °C	35 °C
	Verdampfer	10 °C	7 °C

Um den Ladeprozess mittels WP zu charakterisieren werden weitere Temperaturniveaus getestet. Im Weiteren werden auch im Entladeprozess höhere Verdampfungstemperaturen getestet. [1]

Prozess		Eingangstemperatur	Ausgangstemperatur
Ladeprozess	Desorption	55 °C	52 °C
	Kondensation	5 °C	10 °C
Ladeprozess	Desorption	60 °C	57 °C
	Kondensation	10 °C	15 °C
Entladeprozess (BWW)	Absorption	40 °C	65 °C
	Verdampfen	40 °C	35 °C
Entladeprozess (RW)	Absorption	45 °C	55 °C
	Verdampfen	30 °C	25 °C

4.1 Strombedarf der WP im Winter

Wird im Labor nicht gemessen.

4.2 Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer durch die SWP

Wird im Labor nicht gemessen.

4.3 Temperaturhub der SWP

Der Temperaturhub ergibt sich aus dem Temperaturunterschied zwischen Verdampfer/Kondensator und Absorber/Desorber.

Laden:

$$\Delta T_{BTH,La} = (T_{D,in} - T_{K,in}) \quad 1$$

Heizen und Warmwasser:

$$\Delta T_{BTH,Heizen,max} = (T_{A,out} - T_{V,in}) \text{ SWP-Temperaturhub} \quad 2$$

$$\Delta T_{BTH,Heizen,min} = (T_{A,in} - T_{V,in}) \text{ Entscheidend für die Speicherdichte} \quad 3$$

4.4 Heizleistung/Ladeleistung der SWP

Die abgegebene Heizleistung wird über den Temperaturunterschied im Heizungswasser bestimmen.

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{HW} * c_{pW} * (T_{H,in} - T_{H,out}) \quad 4$$

$$\dot{Q}_H = \dot{V}_{HW} * \varrho_W * c_{pW} * (T_{H,in} - T_{H,out}) \quad 5$$

Gleichermassen kann auch der Wärmestrom berechnet werden, der dem Desorber beim Laden zugeführt wird.

$$\dot{Q}_{La} = \dot{V}_{HW} * \varrho_W * c_{pW} * (T_{D,out} - T_{D,in}) \quad 6$$

4.5 Energiedichte Natronlauge

Die Energiedichte ergibt sich aus der abgegebenen Heizleistung geteilt durch den Volumenstrom an Natronlauge plus den Volumenstrom an absorbiertem Wasser.

$$\omega = \frac{\dot{Q}_H}{\frac{\dot{m}_{NaOH,in}}{\varrho_{NaOH}} + \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\varrho_{H_2O}}} \quad 7$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{NaOH,in} * \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) \quad 8$$

4.6 Speicherwirkungsgrad

Im Labor kann der thermische und exergetische Speicherwirkungsgrad bestimmt werden. Es werden Tests mit vagierenden Endkonzentrationen durchgeführt.

4.6.1 Energetisch

Der thermische Speicherwirkungsgrad wird gemessen anhand der verwendeten Ladeenergie und der resultierenden Entladeenergie. D.h. im Ladevorgang wird die Desorberleistung zur Gewinnung einer 50 wt% Natronlauge aus einer entladener Natronlauge X wt% gemessen und im Entladeprozess wird die vom Absorber abgegebene Leistung durch die Verdünnung der Natronlauge von 50 wt% auf X wt% gemessen. Die Berechnung von $\dot{Q}_H$ und $\dot{Q}_{La}$ wird im Kapitel 4.4 beschrieben.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_{La}} \quad 9$$

4.6.2 Exergetisch

Der exergetische Speicherwirkungsgrad ergibt sich aus Verhältnis der abgeführten Exergie ($\dot{Q}_H$) und der zugeführten Exergie ($\dot{Q}_{La}$). Die Exergie eines Wärmestroms kann mit dem Carnot-Wirkungsgrad (η_C) bestimmt werden, wobei T_U die Umgebungstemperatur und $T_{Q,m}$ die logarithmische mittel Temperatur des Wärmestroms ist.

$$\eta_E = \frac{\dot{E}_{Q,H}}{\dot{E}_{Q,La}} \quad 10$$

$$\dot{E}_Q = \eta_C * \dot{Q}_{H/La} \quad 11$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_U}{T_{Q,m}} \quad 12$$

$$T_{Q,m} = \frac{\Delta T_{A/D} - \Delta T_{V/K}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{A/D}}{\Delta T_{V/K}}\right)} \quad 13$$

4.7 Kosten (TCO)

Wird im Labor nicht gemessen.

4.8 Erzeugte Menge an CO2

Wird im Labor nicht gemessen.

5 Umsetzung im Gebäude

5.1 Strombedarf der WP im Winter

Der Stromverbrauch der WP mit SWP wird über die Integration der Leistung über die Laufzeit berechnet, wobei t_0 der Start Zeitpunkt und t_B die Betrachtungsdauer von 3 Jahren ist.

$$E_{el,WP,H} = \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,H} dt \quad 14$$

5.2 Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer durch die SWP

Es soll nur dann Natronlauge aufkonzentriert werden, wenn die PV-Anlage genügend Strom zum Betreiben der WP produziert oder die virtuelle Batterie (siehe Kapitel 3.1) genügend geladen ist.

Also kann der Eigenverbrauch an PV-Strom durch die SWP über die Leistungsaufnahme der WP während des Ladeprozesses ermittelt werden.

$$E_{el,WP,La} = \int_{t_0}^t P_{el,WP,H} dt \quad 15$$

5.3 Temperaturhub der SWP

Der Temperaturhub wird gleich berechnet wie in Kapitel 4.3. Jedoch haben wir hier variierende Temperaturen.

Die Vorlauftemperatur ändert sich, wenn wir zwischen Heizbetrieb und Warmwassererzeugung wechseln. Ausserdem ändert sie auch je nach Heizbedarf/Umgebungstemperatur.

Die Wärmequellentemperatur der SWP kann flexibel eingestellt werden.

5.4 Heizleistung/Ladeleistung der SWP

Gleich wie in Kapitel 4.4

5.5 Energiedichte Natronlauge

Gleich wie in Kapitel 4.5

5.6 Speicherwirkungsgrad

Der thermische Speicherwirkungsgrad bezieht sich auf die im Sommer aufgewendete und im Winter eingesparte thermisch Energie und berechnet sich wie folgt. Die Berechnung von $\dot{Q}_H$ und $\dot{Q}_{La}$ wird im Kapitel 4.4 beschrieben.

$$\eta_{th} = \frac{Q_H}{Q_{La}} \quad 16$$

$$Q_H = \int_{t_0}^t \dot{Q}_H dt \quad 17$$

$$Q_{La} = \int_{t_0}^t \dot{Q}_{La} dt \quad 18$$

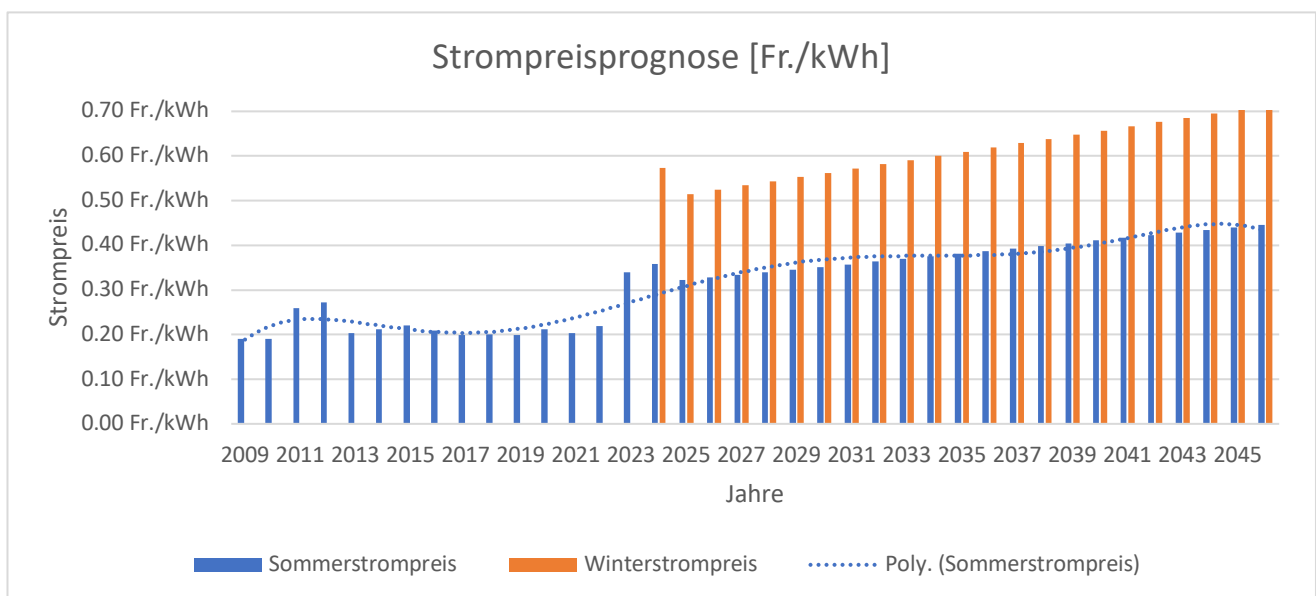
Der elektrische Speicherwirkungsgrad bezieht sich auf die im Sommer aufgewendete und im Winter eingesparte elektrische Energie und berechnet sich wie folgt.

$$\eta_{el} = \frac{E_{el,Red}}{E_{el,WP,La}} \quad 19$$

5.7 Kosten (TCO)

Die TCO ergeben sich, wenn alle Kosten und Ersparnisse aufsummiert werden. Um diese über die nächsten 20 Jahren abschätzen zu können, müssen Annahmen bezüglich der Strompreisentwicklung, sowie einer möglichen Sommer-, Winterstrompreis Aufteilung gemacht werden. Zusätzlich müssen auch die Gesteungskosten beachtet werden, so wie Opportunitätskosten.

Eine Möglichkeit zur Abschätzung des zukünftigen Strompreises ist die Verwendung der Strompreisdaten der Gemeinde Frauenfeld der letzten 15 Jahre [2] in Excel. Dabei kann eine Prognose mit exponentieller Glättung erstellt werden. Diese Prognose kann durch einen Korrekturfaktor verbessert werden, der auf der Preisentwicklungsprognose für 2025 des EKZ basiert. [3]



Eine mögliche Abschätzung der zukünftigen Differenz zwischen Sommer- und Winterstrompreisen kann nur sehr vage erfolgen. Basierend auf dem von der Harvard University veröffentlichten Bericht „Inefficient Building Electrification Will Require Massive Buildout of Renewable Energy and Seasonal Energy Storage“ [4] der von einem durchschnittlich 1,6-mal höheren Winterstrombedarf ausgeht, macht es Sinn, den Winterstrompreis in drei Szenarien zu betrachten. Hierbei wird der abgeschätzte Strompreis des jeweiligen Jahres mit einem Faktor multipliziert. Als Grundlage dient der Faktor 1,6 aus dem Bericht, zusätzlich werden zwei weitere Szenarien mit den Faktoren 1,2 und 2,0 betrachtet.

Auch der Eigenverbrauch des über die PV-Anlage generierten Stroms beinhaltet Kosten, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Laut dem Leitfaden Eigenverbrauch, der im Auftrag von EnergieSchweiz durch Swissolar, den Hauseigentümerverband (HEV Schweiz), den Schweizerischen Mieterinnen- und Mieterverband (SMV) und unter Einbezug des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) erstellt wurde, betragen die Kosten für den Eigenverbrauch von selbst erzeugtem Strom in der Schweiz typischerweise etwa 17 Rp/kWh. Für die Berechnung der Opportunitätskosten wird der Vergütungstarif von Thurplus, dem Stromanbieter für Frauenfeld, von 16.5 Rp/kWh verwendet. [5]

Annahmen:

$t_B = 3 a$	Betrachtungsdauer
$k_{PV,t} = 17 Rp/kWh$	Kosten Eigenverbrauch PV-Strom im Jahr t
$k_{CH,So,t}$	Kosten CH-Strom Sommer im Jahr t
$k_{CH,Wi,t}$	Kosten CH-Strom Winter im Jahr t
f_x	Faktor zur Berechnung Winterstrompreis

$$K_{TCO} = \sum_{t=0}^{t_B} K_t \quad 20$$

$$K_t = K_{Inv} + K_{Bet,t} + K_{Wart,t} \quad 21$$

$$K_{Inv} = K_{Prod} + K_{Inst} + K_{Stor} \quad 22$$

$$K_{Bet,PV,t} = k_{PV,t} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,PV,t} dt \quad 23$$

$$K_{Bet,CH,So,t} = k_{CH,So,t} * \int_{t_0}^{t_{B,So}} P_{el,WP,CH,t} dt \quad 24$$

$$K_{Bet,CH,Wi,t} = k_{CH,So,t} * f_x * \int_{t_0}^{t_{B,W}} P_{el,WP,CH,t} dt \quad 25$$

Durch die TCO wird ermittelt, welches die entscheidenden Grössen sind. Zur besseren Übersicht wird das Ganze aufgelistet und ähnlich der folgenden Tabelle dargestellt.

	Heute	10 Jahre	15 Jahre	20 Jahre	
Elemente	2024	2033	2038	2043	Gesamt
Herstellungskosten	CHF 75'000.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 75'000.00
Installationskosten	CHF 22'500.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 22'500.00
Tankanlage (250 Fr./m ³) IBC	CHF 17'500.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 17'500.00
Wartungskosten pro Jahr	CHF 0.00	CHF 200.00	CHF 200.00	CHF 200.00	CHF 3'800.00
Strompreis Sommer (Schätzungen)	0.36 Fr./kWh	0.37 *Fr./kWh	0.40 *Fr./kWh	0.43 *Fr./kWh	0.37 Fr./kWh
Strompreis Winter (Schätzungen)	0.57 *Fr./kWh	0.59 *Fr./kWh	0.64 *Fr./kWh	0.69 *Fr./kWh	0.60 Fr./kWh
Strompreisdifferenz (Schätzungen)	0.22 *Fr./kWh	0.22 *Fr./kWh	0.24 *Fr./kWh	0.26 *Fr./kWh	0.22 Fr./kWh
Strompreis PV eigenverbrauch	0.19 Fr./kWh	0.19 Fr./kWh	0.19 Fr./kWh	0.19 Fr./kWh	0.19 Fr./kWh
Strombezug zum SWP Laden mit WP	298 kWh	298 kWh	298 kWh	298 kWh	5950.00 kWh
Strombezug zum Heizen mit SWP und WP	3139 kWh	3139 kWh	3139 kWh	3139 kWh	62777.27 kWh
Strombezug zum Heizen nur mit WP	5400 kWh	5400 kWh	5400 kWh	5400 kWh	108000.00 kWh
Reduktion Stromverbrauch für Heizug durch SWP	2261 kWh	2261 kWh	2261 kWh	2261 kWh	45222.73 kWh
Ladekosten SWP ohne PV	CHF 106.65	CHF 109.85	CHF 118.64	CHF 127.43	CHF 2'227.15
Ladekosten SWP mit PV	CHF 56.53	CHF 56.53	CHF 56.53	CHF 56.53	CHF 1'130.50
Heizkosten mit SWP und WP	CHF 1'800.45	CHF 1'854.36	CHF 2'002.76	CHF 2'151.16	CHF 37'597.20
Heizkosten nur mit WP	CHF 3'097.44	CHF 3'190.18	CHF 3'445.48	CHF 3'700.79	CHF 64'681.02
Gesamtkosten pro Jahr WP	CHF 3'097.44	CHF 3'390.18	CHF 3'645.48	CHF 3'900.79	CHF 68'481.02
Gesamtkosten pro Jahr SWP ohne PV	CHF 116'907.11	CHF 2'164.21	CHF 2'321.40	CHF 2'478.59	CHF 158'624.36
Gesamtkosten pro Jahr SWP mit PV	CHF 116'856.98	CHF 1'910.88	CHF 2'059.28	CHF 2'207.68	CHF 153'727.70
Vergleich Jährlichekosten SWP ohne PV zu WP	CHF 113'809.67	-CHF 1'225.97	-CHF 1'324.09	-CHF 1'422.20	CHF 90'143.34
Vergleich Jährlichekosten SWP mit PV zu WP	CHF 113'759.54	-CHF 1'479.30	-CHF 1'586.20	-CHF 1'693.10	CHF 85'246.68

*Schätzungen auf Grundlag der Strompreisentwicklung 2009 - 2024 mittels Exponetioneler Glättung

Beispiel TCO

5.8 Erzeugte Menge an CO2

Die CO2-Emissionen ergeben sich aus dem verbrauchten Strom und der Menge an CO2 pro kWh, die für die Erzeugung des Stromes angenommen wird.

Annahmen:

$t_B = 3 \text{ a}$	Betrachtungsdauer
$M_{CO2,PV} = 41.7 \text{ g CO2 eq/kWh}$	Menge an CO2 im PV-Strom [6]
$M_{CO2,CH} = 128 \text{ g CO2 eq/kWh}$	Menge an CO2 im CH-Strom [6]

$$m_{CO2,tot} = m_{CO2,PV} + m_{CO2,CH} \quad 26$$

$$m_{CO2,CH} = M_{CO2,CH} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,CH} dt \quad 27$$

$$m_{CO2,PV} = M_{CO2,PV} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,PV} dt \quad 28$$

6 Ergebnisse im Labor

6.1 Laden

6.1.1 2 g/min

Nr.	$T_{D,out}$ [°C]	$T_{D,in}$ [°C]	$T_{K,in}$ [°C]	$T_{K,out}$ [°C]	$C_{NaOH,hoch}$ [wt%]	BTH_{La} [K]	$\dot{Q}_{La}$ [kW]
1							
2							
3							
4							

6.1.2 4 g/min

Nr.	$T_{D,out}$ [°C]	$T_{D,in}$ [°C]	$T_{K,in}$ [°C]	$T_{K,out}$ [°C]	$C_{NaOH,hoch}$ [wt%]	BTH_{La} [K]	$\dot{Q}_{La}$ [kW]
1							
2							
3							
4							

6.1.3 6 g/min

Nr.	$T_{D,out}$ [°C]	$T_{D,in}$ [°C]	$T_{K,in}$ [°C]	$T_{K,out}$ [°C]	$C_{NaOH,hoch}$ [wt%]	BTH_{La} [K]	$\dot{Q}_{La}$ [kW]
1							
2							
3							
4							

6.2 Heizen und Warmwasser

6.2.1 2 g/min

Nr.	$T_{H,in}$ [°C]	$T_{H,out}$ [°C]	$T_{V,in}$ [°C]	$T_{V,out}$ [°C]	$C_{NaOH,tief}$ [wt%]	BTH_H [K]	$\dot{Q}_H$ [kW]	η_{th} [%]	ω [kWh/m³]
1									
2									

6.2.2 4 g/min

Nr.	$T_{H,in}$ [°C]	$T_{H,out}$ [°C]	$T_{V,in}$ [°C]	$T_{V,out}$ [°C]	$C_{NaOH,tief}$ [wt%]	BTH_H [K]	$\dot{Q}_H$ [kW]	η_{th} [%]	ω [kWh/m³]
1									
2									

6.2.3 6 g/min

Nr.	$T_{H,in}$ [°C]	$T_{H,out}$ [°C]	$T_{V,in}$ [°C]	$T_{V,out}$ [°C]	$C_{NaOH,tief}$ [wt%]	BTH_H [K]	$\dot{Q}_H$ [kW]	η_{th} [%]	ω [kWh/m ³]
1									
2									

7 Ergebnisse im Gebäude

7.1 Laden

Nr.	$T_{D,out}$ [°C]	$T_{D,in}$ [°C]	$T_{K,in}$ [°C]	$T_{K,out}$ [°C]	BTH_{La} [K]	$P_{el,WP}$ [kW]	COP [-]
1							

7.2 Heizen und Warmwasser

T_U [°C]	$T_{H,in}$ [°C]	$T_{H,out}$ [°C]	$T_{V,in}$ [°C]	$T_{V,out}$ [°C]	BTH_H [K]	$\dot{Q}_H$ [kW]	ω [kWh/m ³]	$P_{el,WP}$ [kW]
-10 bis -5								
-5 bis 0								
0 bis 5								
5 bis 10								
10 bis 15								

7.3 Zielgrößen

Prozess	Heizen	Warmwasser	Laden
Reduktion des Strombedarfs der WP im Winter [kWh]			
Erhöhter Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer [kWh]			
Temperaturhub der SWP [K]			
Abgegebene Heizleistung der SWP [kW]			
Energiedichte Natronlauge [kWh/m ³]			
Speicherwirkungsgrad elektrisch			
Speicherwirkungsgrad thermisch			

8 Vergleich

Die SWP wird mit folgenden Alternativen verglichen.

1. Ein System das nur mit einer WP betrieben wird
2. Einem System mit einem Wasserstoffspeicher

Dabei ist die WP das Basissystem und die beiden anderen Systeme ergänzen die WP mit einer Speicherlösung.

	WP	H ₂ -Speicher	SWP
Strombedarf im Winter [kWh]			
Zusätzlicher Eigenverbrauch des PV-Stromes im Sommer [kWh]	0		
Eingesparte Menge an CO ₂ [kg]	0		
Systemkosten [CHF]			

8.1 Vergleichssystem WP

8.1.1 Stromverbrauch im Winter / Sommer

Der Stromverbrauch der WP ohne SWP kann über die Betriebstemperaturen und den Heizbedarf errechnet werden.

Annahmen:

$\Delta T_{HEX,WW} = 2K$ Temperaturdifferenz in einem Wasser/Wasser-Wärmeübertrager

$\Delta T_{HEX,LW} = 5K$ Temperaturdifferenz in einem Luft/Wasser-Wärmeübertrager

$$COP = \zeta * \frac{T_{H,in} + \Delta T_{HEX,WW}}{(T_{H,in} + \Delta T_{HEX,WW}) - (T_U - \Delta T_{HEX,LW})} \quad 29$$

$$P_{el,ohne SWP} = \frac{\dot{Q}_H}{COP} \quad 30$$

$$E_{el,ohne SWP} = \int_{t_0}^t P_{el,ohne SWP} dt \quad 31$$

8.1.2 Kosten (TCO)

Gleich wie in Kapitel 5.7.

8.1.3 Erzeugte Menge an CO₂

Die CO₂-Emissionen ergeben sich aus dem verbrauchten Strom und der Menge an CO₂ pro kWh, die für die Erzeugung des Stromes angenommen wird.

Annahmen:

$t_B = 3 \text{ a}$	Betrachtungsdauer
$M_{CO_2,PV} = 41.7 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$	Menge an CO ₂ im PV-Strom [6]
$M_{CO_2,CH} = 128 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$	Menge an CO ₂ im CH-Strom [6]

$$m_{CO_2,tot} = m_{CO_2,PV} + m_{CO_2,CH} \quad 32$$

$$m_{CO_2,CH} = M_{CO_2,CH} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,CH} dt \quad 33$$

$$m_{CO_2,PV} = M_{CO_2,PV} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,PV} dt \quad 34$$

8.2 Vergleichssystem WP mit Wasserstoffspeicher

Beim Wasserstoffspeicher wird ein Vergleichssystem angenommen, dass die gleiche Speicherkapazität hat wie die Sorptionsspeicher-Wärmepumpe. Das heisst, dass der Winterstrombedarf gleichgesetzt wird, folglich gleichviel Strom im Winter eingespart.

8.2.1 Stromverbrauch im Winter

Dieser wird mit der Sorptionsspeicherwärmepumpe gleichgesetzt.

8.2.2 Stromverbrauch im Sommer

Anhand des Speicherwirkungsgrades eines Wasserstoffspeichers und der gespeicherten Menge an Strom kann der Stromverbrauch im Sommer berechnet werden.

Annahmen:

$\eta_{el,H_2} = 42.5 \%$	Speicherwirkungsgrad [7]
---------------------------	--------------------------

$$E_{el,La,H_2} = \eta_{el,H_2} * \int_{t_0}^t P_{el,ohne SWP} dt - \int_{t_0}^t P_{el,WP,Heizen} dt \quad 35$$

8.2.3 Kosten (TCO)

Gleich wie in Kapitel 5.7.

8.2.4 Erzeugte Menge an CO₂

Die CO₂-Emissionen ergeben sich aus dem verbrauchten Strom und der Menge an CO₂ pro kWh, die für die Erzeugung des Stromes angenommen wird.

Annahmen:

$t_B = 3 \text{ a}$	Betrachtungsdauer
$M_{CO_2,PV} = 41.7 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$	Menge an CO ₂ im PV-Strom [6]
$M_{CO_2,CH} = 128 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$	Menge an CO ₂ im CH-Strom [6]

$$m_{CO_2,tot} = m_{CO_2,PV} + m_{CO_2,CH} \quad 36$$

$$m_{CO_2,CH} = M_{CO_2,CH} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,CH} dt \quad 37$$

$$m_{CO_2,PV} = M_{CO_2,PV} * \int_{t_0}^{t_B} P_{el,WP,PV} dt \quad 38$$

$$m_{CO_2,PV} = t_B * M_{CO_2,PV} * E_{el,La,H2} \quad 39$$

8.3 Vergleichssystem 100% SolarLCA und HyTES

100%SolarLCA untersucht die Lebenszyklusanalyse verschiedener Konzepte für 100% solar beheizte Gebäude und ist ein Forschungsprojekt der Hochschulen OST, HSLU und Nordwestschweiz. [8]

Bei HyTES hingegen wird die Optimierung hybrider saisonaler Wärmespeichersysteme mithilfe von Phasenwechselmaterialien untersucht. Dieses Projekt ist ein Forschungsprojekt der Hochschule Luzern (HSLU). [9]

Die Vergleichsparameter werden anhand der zur Verfügung stehenden Daten definiert. Mögliche Vergleichsparameter sind dieselben wie in Kapitel 8.2 für den Vergleich mit dem Wasserstoffspeicher eruiert wurden.

9 Business Case

Nachfolgend ist ein möglicher Business Case auf der Grundlage der momentan vorliegenden Informationen abgebildet. Dabei wurden mit den Materialkosten der jetzigen Anlage und mithilfe eines Skalierungsfaktors die Zukünftigen Kosten abgeschätzt. Der Skalierungsfaktor ergibt sich aus Annahmen zu folgenden Punkten:

- Economy of Scales
- Optimierung der Herstellung
- Optimierung der benötigten Sensoren

Annahmen zu Pilotanlage Frauenfeld:

Diese Annahmen beruhen auf den erwarteten Resultanten der Pilotanlage Frauenfeld.

$t_B = 20 \text{ a}$	Betrachtungsdauer
$E_{el,WP,La} = 320 \text{ kWh}$	Aufgewendete elektrische Energie zum Laden
$k_{PV} = 4 \text{ Rp/kWh}$	Strompreis während des Ladens
$E_{el,Red} = 320 \text{ kWh}$	Reduzierter elektrischer Energieaufwand zum Heizen
$k_{CH,Wi} = 56 \text{ Rp/kWh}$	Strompreis während des Heizens (Mittelwert von 2025-2034 gemäss Kapitel 5.7)

Annahmen Szenario Einfamilienhaus (EFH):

In diesem Szenario wird ein älteres Einfamilienhaus mit Radiatoren betrachtet. Daraus resultieren hohe benötigte Vorlauftemperaturen (max. 60°C). Ausserdem soll das Gebäude einen fünf Mal grösseren Speicher besitzen, was einer Speichergrösse von 20m³ entspricht (Annahme Flexible Tanks ohne Totvolumen). Dadurch verändern sich die angenommenen Energiemengen wie folgt:

$E_{el,WP,La} = 1600 \text{ kWh}$	Aufgewendete elektrische Energie zum Laden
$E_{el,Red} = 1600 \text{ kWh}$	Reduzierter elektrischer Energieaufwand zum Heizen

Es wird angenommen das sich der Preis der Speicheranschaffung und Installation verdoppelt, da die benötigten Sensoren sowie Verrohrungen gleichbleiben. Die Mehrkosten fallen nur durch die Beschaffung der grösseren Tanks an.

Die Kosten für das Speichermedium werden vervierfacht, da die Kosten für den Transport und die Befüllung nur einmal benötigt werden.

Alle anderen Annahmen sind gleich wie bei den Annahmen zur Pilotanlag Frauenfeld.

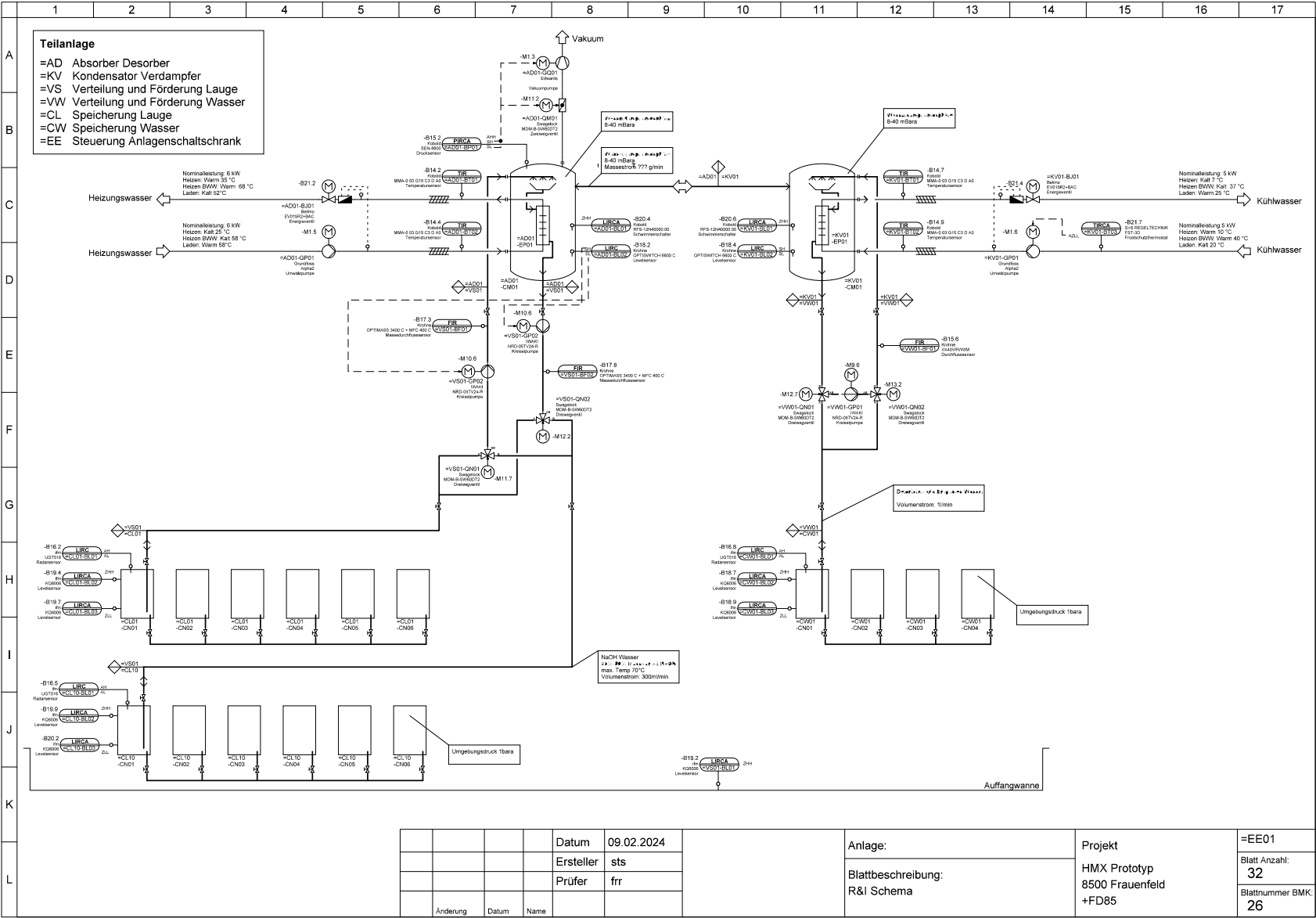
Element	Skalierung	Kosten Pilotanlage [CHF]	Kosten skaliert Pilotanlage [CHF]	Kosten skaliert EFH [CHF]
<i>Investitionskosten</i>				
SWP Anschaffungs- und Installation	0.4	50'000	20'000	20'000
Speicher Anschaffungs- und Installation	0.5	10'000	5'000	10'000
Speichermedium Anschaffung und Befüllung	0.6	2'500	1'500	6'000
Anschaffung Wärmepumpe	0.8	20'000	16'000	16'000
Total		82'500	42'500	52'000
<i>Jährliche Kosten</i>				
WP-Unterhalt	1	0	0	0
SWP-Unterhalt	0.02	5'000	100	100
SWP Speicher Unterhalt	0.02	5'000	100	100
Total		10'000	200	200
<i>Einsparungen</i>				
Stromkosten zum Laden im Sommer	1	12.8	12.8	64
Stromkostenreduktion für Wärme	1	-179.2	-179.2	-896
Totale Stromkostenreduktion		-166.4	-166.4	-832
Totale Stromkostenreduktion (20 Jahre)		-3'328	-3'328	-16'640
<i>Wirtschaftlichkeit</i>				
TCO		91'672	41'872	35'560

Der Business Case zeigt, dass die Kosteneinsparung stark vom Tankvolumen abhängen. Deshalb ist noch offen in welchem Marktbereich sich die SWP am besten behaupten kann. Dies hängt vor allem davon ab, wie gross das verkraftbare Tankvolumen in den Marktsegmenten ist (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Wärmenetzbetreiber, ...).

10 Produktakzeptanz

Die Evaluation bezüglich der Produktakzeptanz wird von der HSLU-D&A durchgeführt. Die Evaluationskriterien werden noch nachgetragen.

11 Schema Sorptionsspeicher Wärmepumpe



[illegible]

13 Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Lateinische Buchstaben

cp	J/(kg*K)	Wärmekapazität
C	kg/kg / wt%	Massenkonzentration
COP	-	Coefficient of Performance
E	kWh	Energie
$\dot{E}$	W	Exergiestrom
E	kWh	Energie
M	kg/kWh	Masseerzeugniss pro Energie
$\dot{m}$	kg/s	Massenstrom
P	W	Leistung
Q	J	Thermische Energie
$\dot{Q}$	W	Thermische Leistung
T	K / °C	Temperatur
t	s / h / a	Zeit
K	CHF	Kosten
k	CHF/kWh	Einheitskosten
$\dot{V}$	m ³ /s	Volumenstrom
f	-	Faktor

Griechische Buchstaben

η	-	Wirkungsgrad
ρ	kg/m ³	Dichte
ω	J/m ³	Volumetrische Energiedichte
Δ	-	Differenz
ζ	-	Gütegrad

Indizes

A	Absorber
B	Betrachtungsdauer
Bet	Betrieb
BTH	Brutto-Temperaturhub
BWW	Brauchwarmwasser
C	Carnot
CH	Schweiz
D	Desorber
el	elektrisch
H	Heizen
HEX	Wärmeübertrager
HW	Heizwasser
in	Vorlauf
Inv	Investition
K	Kondensator
La	Laden

<i>LW</i>	Luft / Wasser
<i>out</i>	Rücklauf
<i>p</i>	Peek
<i>Prod</i>	Produktion
<i>PV</i>	Photovoltaik
<i>Red</i>	Reduziert
<i>RW</i>	Raumwärme
<i>So</i>	Sommer
<i>Stor</i>	Speicher
<i>SWP</i>	Sorptionswärmepumpe
<i>TCO</i>	Total Cost of Ownership
<i>th</i>	thermisch
<i>U</i>	Umgebung
<i>V</i>	Verdampfer
<i>W</i>	Wasser
<i>Wart</i>	Wartung
<i>Wi</i>	Winter
<i>WP</i>	Wärmepumpe
<i>WW</i>	Wasser / Wasser

14 Literaturverzeichnis

- [1] B. Fumey und L. Baldini, „Static Temperature Guideline for Comparative Testing of Sorption Heat Storage Systems for Building Application,“ 2021.
- [2] Eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom, „Strompreise Schweiz,“ [Online]. Available: <https://www.strompreis.elcom.admin.ch/municipality/4566?priceComponent=energy&category=C1&period=2024&period=2023&period=2022&period=2021&period=2020&period=2019&period=2018&period=2017&period=2016&period=2015&period=2014&period=2013&period=2012&period=20>. [Zugriff am 16 07 2024].
- [3] EKZ, „Prognose EKZ,“ EKZ, [Online]. Available: <https://www.ekz.ch/de/blue/wissen/2024/prognose-EKZ-tarife-2025.html#:~:text=Den%20Stromeinkauf%20f%C3%BCr%20das%20kommende,um%20rund%2010%20Prozent%20sinken..> [Zugriff am 16 07 2024].
- [4] P. S. Z. M. & J. G. A. Jonathan J. Buonocore, „scientific reports,“ [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-15628-2>. [Zugriff am 16 07 2024].
- [5] Thurplus, „Stromeinspeisung – ein Gewinn für alle,“ Thurplus, [Online]. Available: <https://www.thurplus.ch/fuer-private/produkte/strom/stromeinspeisung.html/40>. [Zugriff am 16 07 2024].
- [6] L. Krebs und R. Frischknecht, „Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018,“ 2021.
- [7] . S. Oberholzer, „Energiespeichertechnologien Kurzübersicht 2021,“ Bern, 2021.
- [8] F. Ruesch, M. Haller, W. Villasmil und S. Roth, „Zwischenbericht 11.11.21 100% solar LCA,“ BFE, 2021.
- [9] W. Villasmil, M. Troxler, R. Hendry, P. Roos, W. Delgado und J. Worlitschek, „Zwischenbericht 30.12.21 HyTES,“ BFE, 2021.
- [10] E. E. ElCom, „Strompreise Schweiz,“ [Online]. Available: <https://www.strompreis.elcom.admin.ch/>. [Zugriff am 29 Mai 2024].

Elektroschema

Projektname	HMX Prototyp
Projektbeschreibung	Steuerung Heizung Kälte
Schaltschranknummer	+FD85=EE01
Ort	8500 Frauenfeld

Schutzgrad	IP2X B
Spannung	230V AC 50Hz
Max. Strom	16A AC
Nullung	TN-S
Für Laien zugänglich	Nein



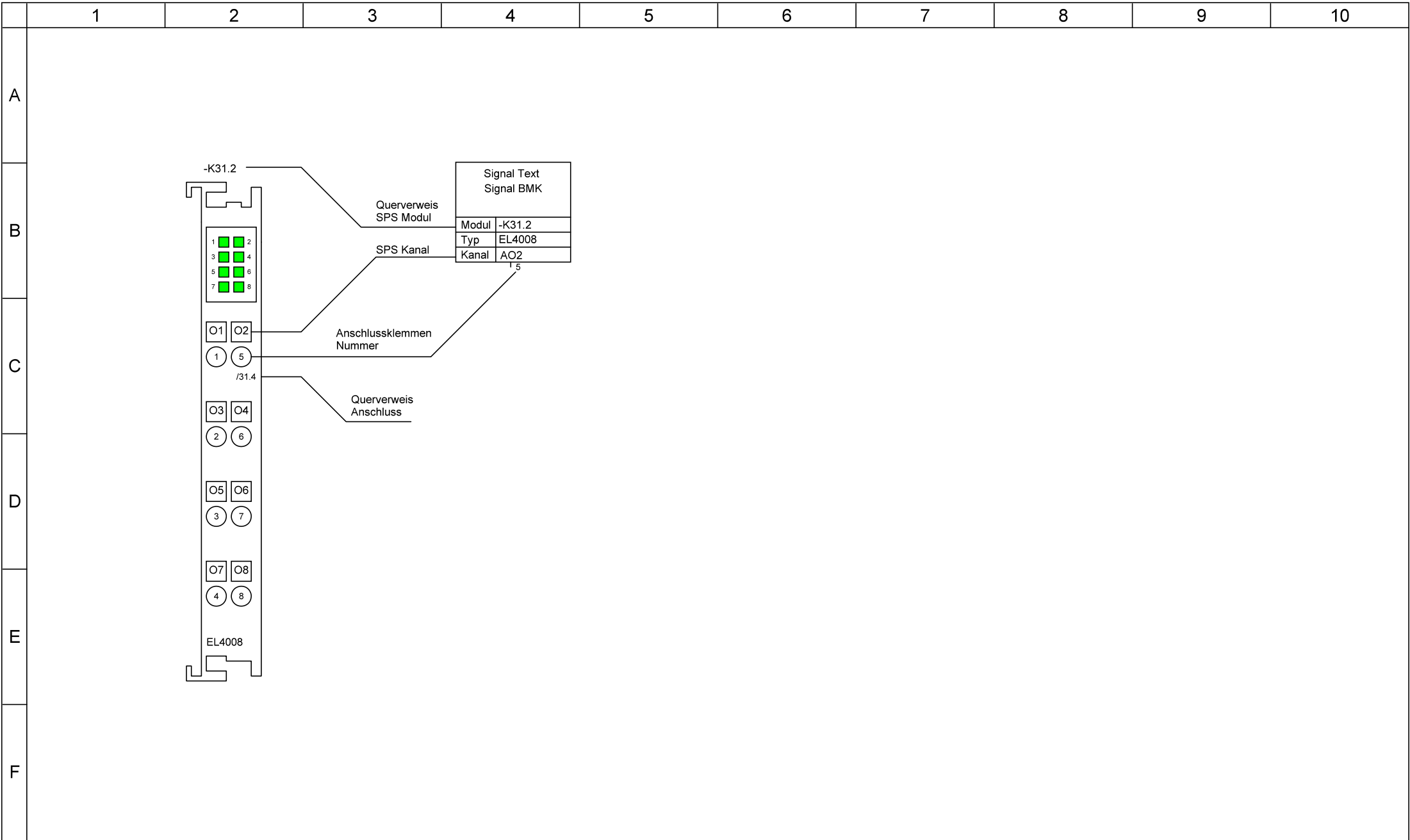
Grendelstrasse 36
5408 Ennetbaden
info@ocresa.ch

Datum	09.10.2024
Ersteller	sts
Blattanzahl	32
Version	0.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Titelblatt Allgemein									
B										
C										
D										
E										
F										
				Datum	09.10.2024			Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blattbeschreibung: Titelblatt Allgemein	HMX Prototyp	Blatt Anzahl: 32
				Prüfer	fr				8500 Frauenfeld	Blattnummer: 0.2
									+FD85	
R.	Änderung	Datum	Name							

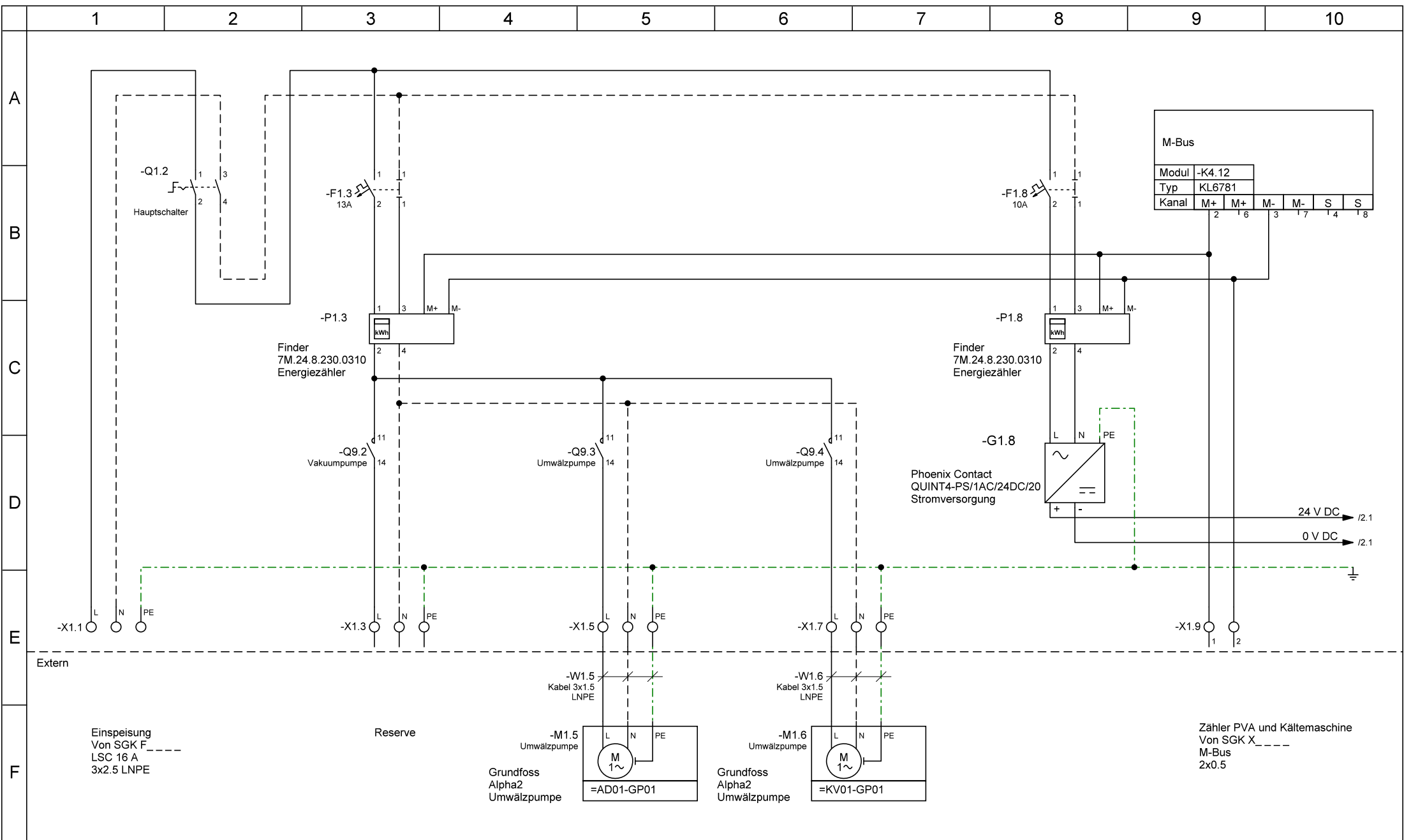
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A		Blatt	Name			Art				
		0.1	Titelblatt			Allgemein				
		0.2	Titelblatt Allgemein			Allgemein				
		0.3	Inhaltsverzeichnis			Allgemein				
		0.4	Drahtfarben			Allgemein				
		0.5	Verweise SPS Beschreibung			Allgemein				
B		0.6	Titelblatt Stromlaufschema			Stromlaufschema				
		1	Einspeisung			Stromlaufschema				
		2	24 V DC Verteilung			Stromlaufschema				
		3	Sicherheitsrelais			Stromlaufschema				
		4	SPS Übersicht			Stromlaufschema				
		5	SPS Komponenten Einspeisung			Stromlaufschema				
		6	Externe Kommunikation Anforderungen			Stromlaufschema				
		7	Externe Kommunikation Meldungen			Stromlaufschema				
C		8	Bedienen Signalisieren Überwachen			Stromlaufschema				
		9	Pumpen Kreiselpumpe			Stromlaufschema				
		10	Kreiselpumpen			Stromlaufschema				
		11	Ventile			Stromlaufschema				
		12	Ventile			Stromlaufschema				
		13	Ventile			Stromlaufschema				
D		14	Temperatursensoren			Stromlaufschema				
		15	Drucksensor Durchflussensor			Stromlaufschema				
		16	Levelsensor Ultraschall			Stromlaufschema				
		17	Massedurchflusssensoren			Stromlaufschema				
		18	Levelsensoren			Stromlaufschema				
		19	Levelsensoren mit Sicherheitsfunktion			Stromlaufschema				
		20	Levelsensoren mit Sicherheitsfunktion			Stromlaufschema				
E		21	Thermische Energieventile Thermostat			Stromlaufschema				
		22	Titelblatt Listen			Listen				
		23	IO Liste Analog Digital			Listen				
		24	Kabelliste			Listen				
		25	Titelblatt Verfahrens Fliessschema			Verfahrens Fliessschema				
F		26	R&I Schema			Verfahrens Fliessschema				
				Datum	09.10.2024		Anlage:	Projekt	=EE01	
				Ersteller	sts				Blatt Anzahl:	
				Prüfer	frr		Blattbeschreibung:	HMX Prototyp	32	
							Inhaltsverzeichnis	8500 Frauenfeld	Blattnummer:	
R.	Änderung	Datum	Name					+FD85	0.3	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Verdrahtung / Farbencode									
B	Spannungsangaben					Verdrahtungsfarben				
	Max. Anlagenstrom : 16A AC Netzspannung : 230V AC 50Hz Steuerspannung : 24V DC Lampenspannung : 24V DC					Hauptstrom Polleiter: L1: Braun / L2: Schwarz / L3: Grau Hauptstrom Neutralleiter: N: Hellblau Hauptstrom Schutzleiter: PE: Gelb/Grün Niederspannung 230V AC: Braun, Hellblau Kleinspannung <50V DC: Rot/Dunkelblau (+), Dunkelblau (-) Fremdspannung < 50V AC: Weiss Fremdspannung > 50V AC: Orange Busverdrahtung: Weiss/Grün Nicht definierbare Spannungen: Weiss/Violett (z. B. Fühler PT 100)				
C										
D										
E										
F	Querschnitte: Schaltschrank intern sind die Drahtquerschnitte in der Verantwortung des Schaltanlagenherstellers Die minimalen Querschnitte sind für Hauptstrom: 1,5mm2 und für Steuerstrom: 1,0mm2. Stromwandleranschlüsse sind mit 2,5mm2 in entsprechender Phasenfarbe.									
	Spezielles: Alle Leitungen müssen Halogenfrei sein.									
				Datum	09.10.2024	Anlage:		Projekt		=EE01
				Ersteller	sts					Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr					32
										Blattnummer:
R.	Änderung	Datum	Name			Drahtfarben		HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85		0.4

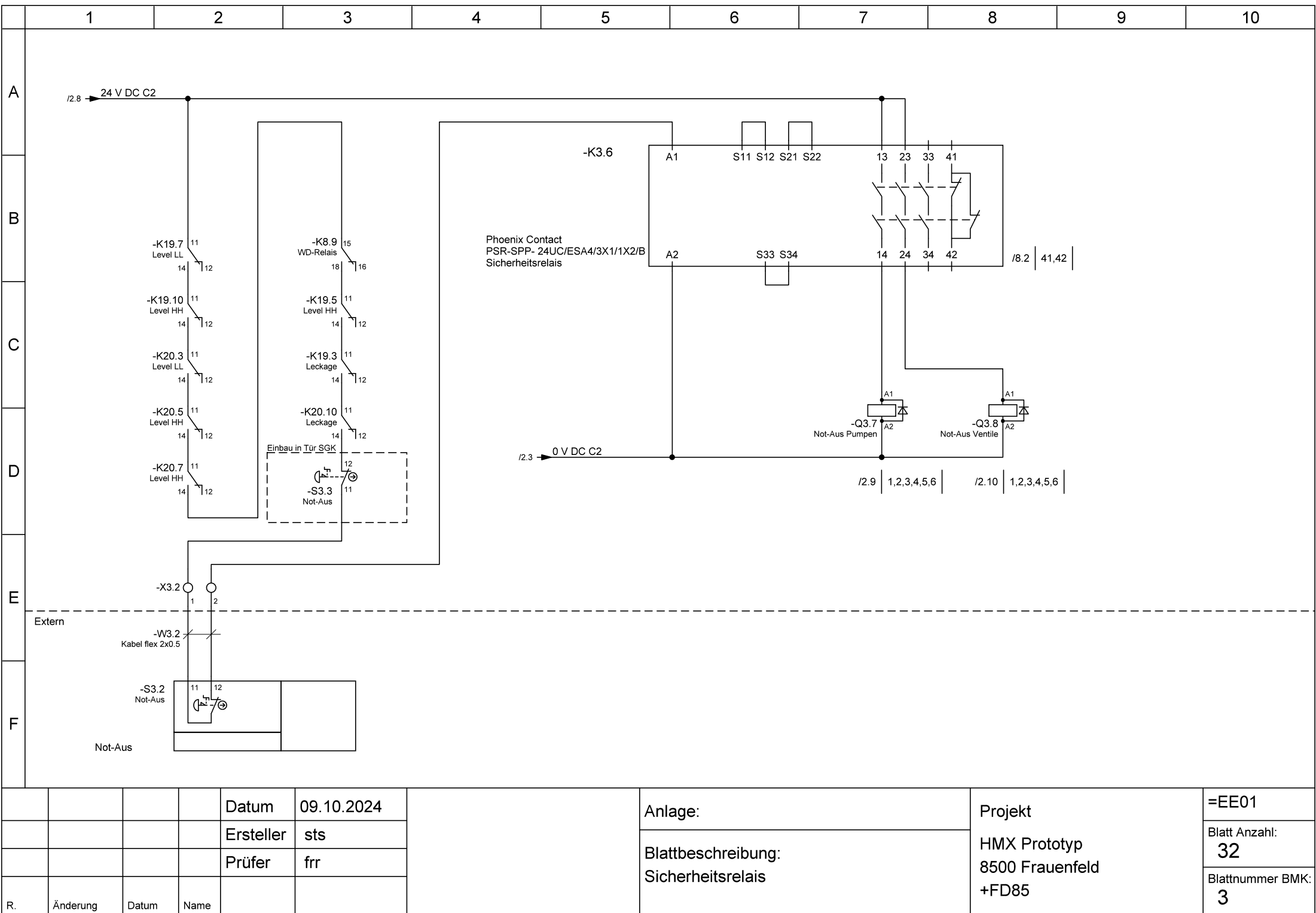


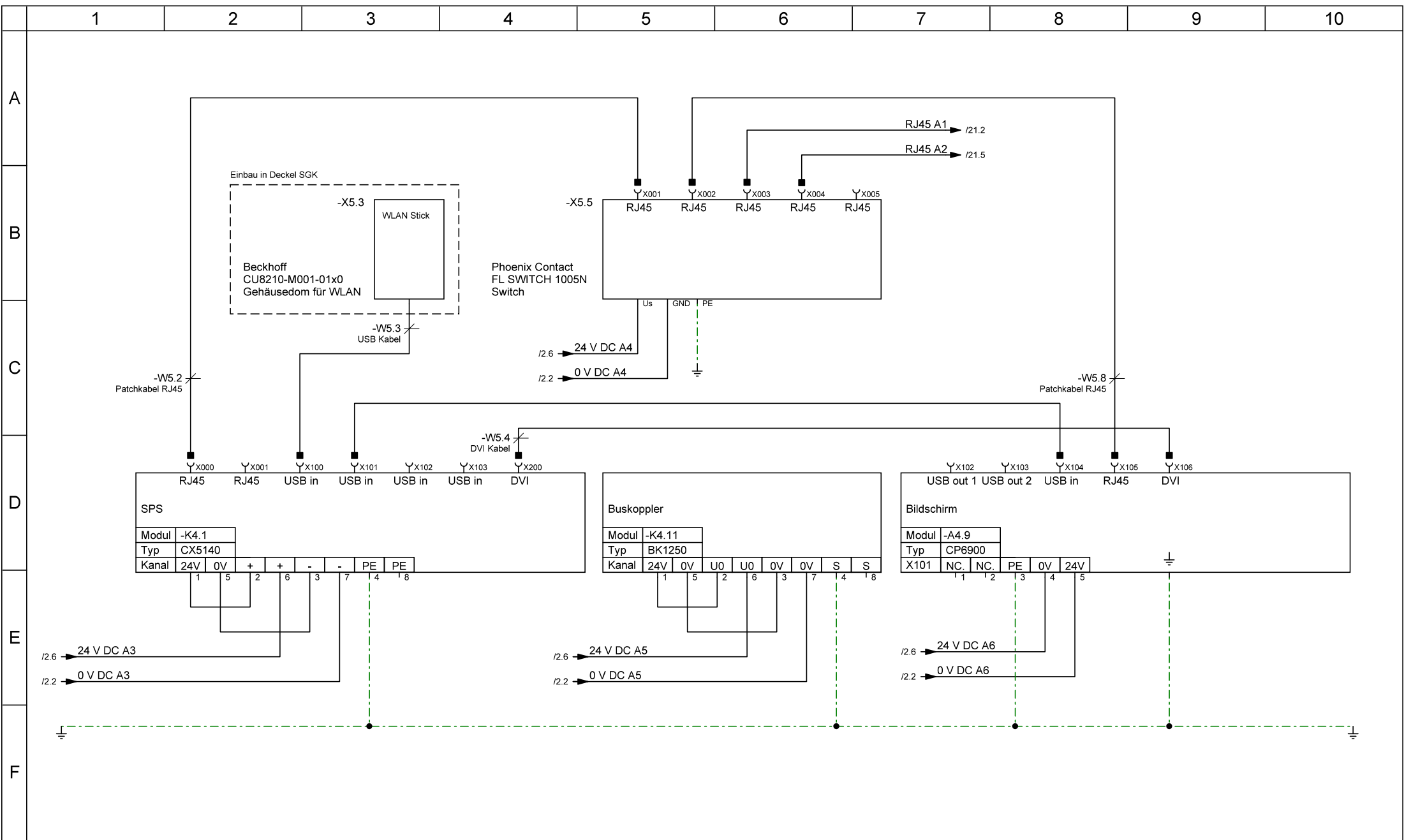
				Datum	09.10.2024		Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts		Blattbeschreibung: Verweise SPS Beschreibung	HMX Prototyp	Blatt Anzahl: 32
				Prüfer	fr			8500 Frauenfeld	Blattnummer:
R.	Änderung	Datum	Name					+FD85	0.5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Titelblatt Stromlaufschema									
B										
C										
D										
E										
F										
				Datum	09.10.2024			Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blattbeschreibung: Titelblatt Stromlaufschema	HMX Prototyp	Blatt Anzahl: 32
				Prüfer	fr				8500 Frauenfeld	Blattnummer: 0.6
									+FD85	
R.	Änderung	Datum	Name							

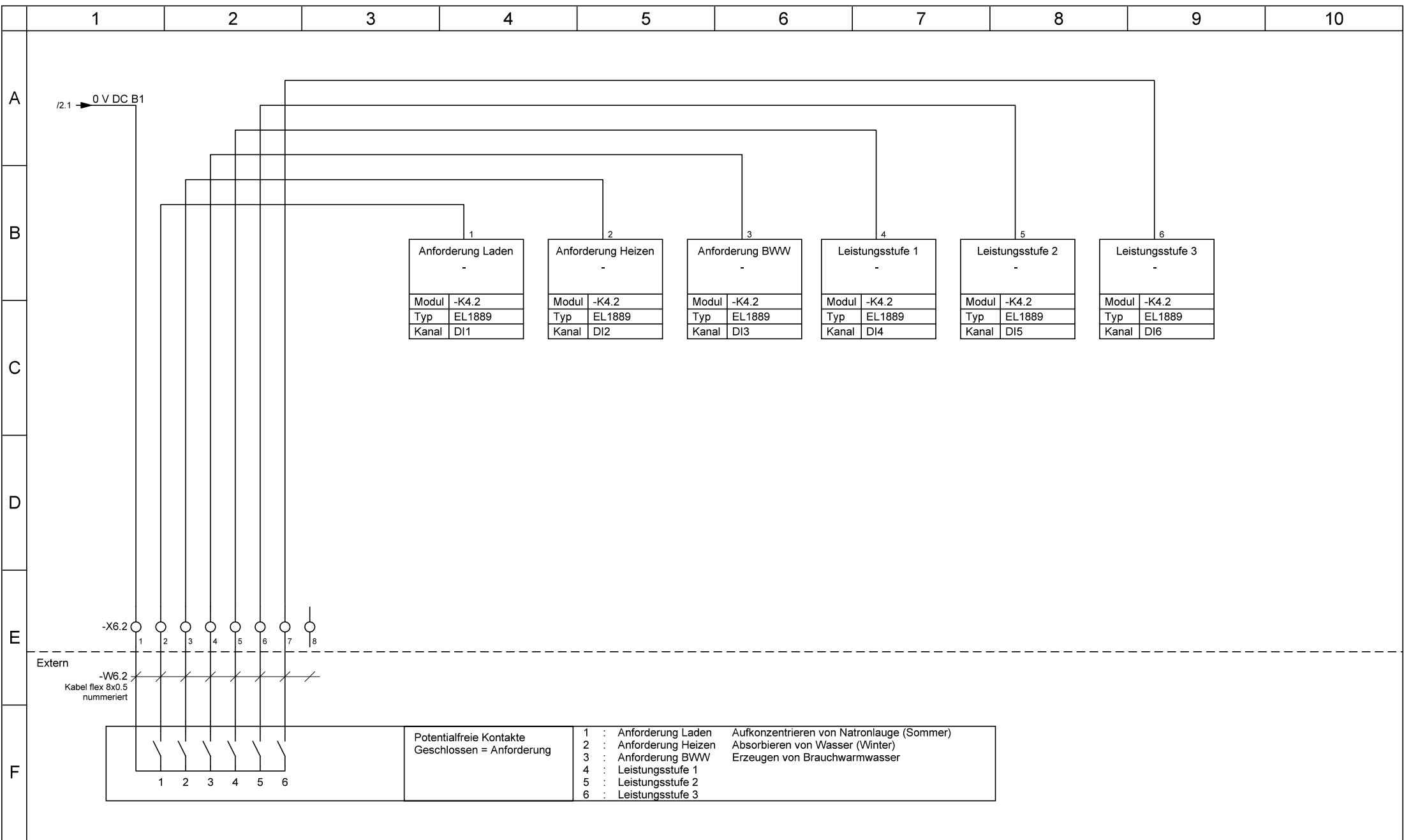


				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr			32
R.	Änderung	Datum	Name			Blattbeschreibung: Einspeisung	HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	Blattnummer BMK:
								1

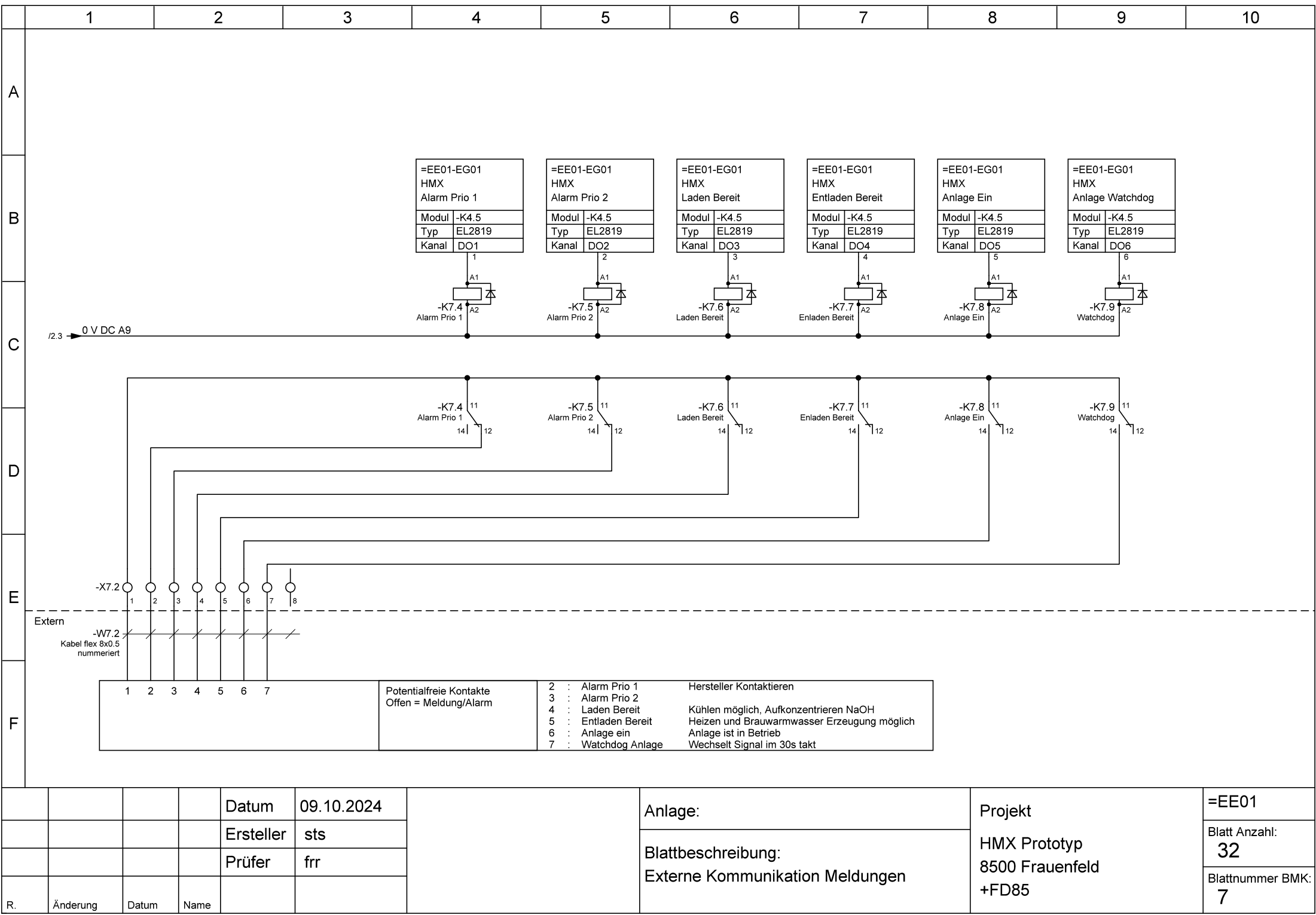


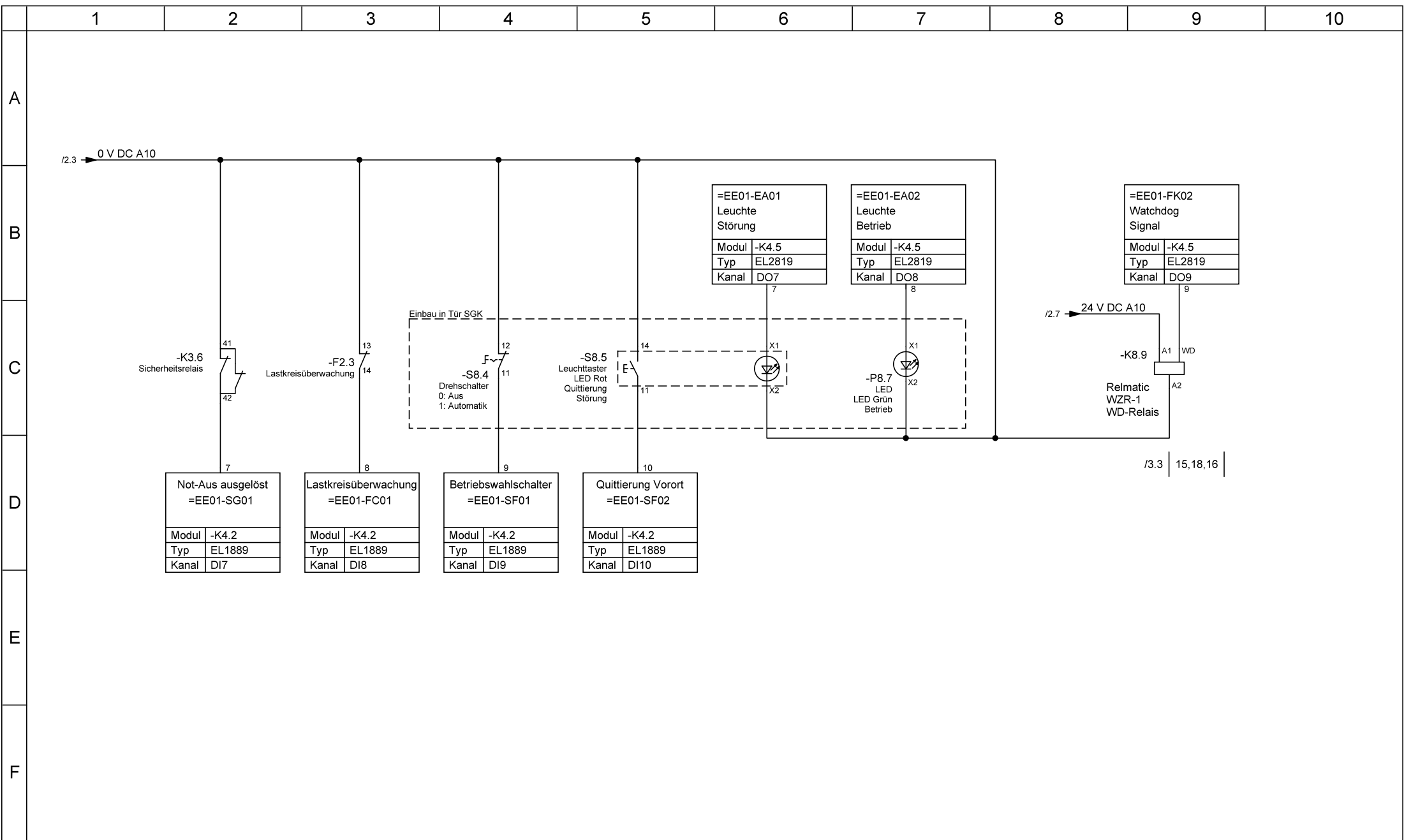


				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr			32
								Blattnummer BMK:
R.	Änderung	Datum	Name			SPS Komponenten Einspeisung	HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	5



				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts		HMX Prototyp	Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr		8500 Frauenfeld	32
R.	Änderung	Datum	Name				+FD85	Blattnummer BMK:
								6





				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts		HMX Prototyp	Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr		8500 Frauenfeld	32
							+FD85	Blattnummer BMK:
R.	Änderung	Datum	Name					8

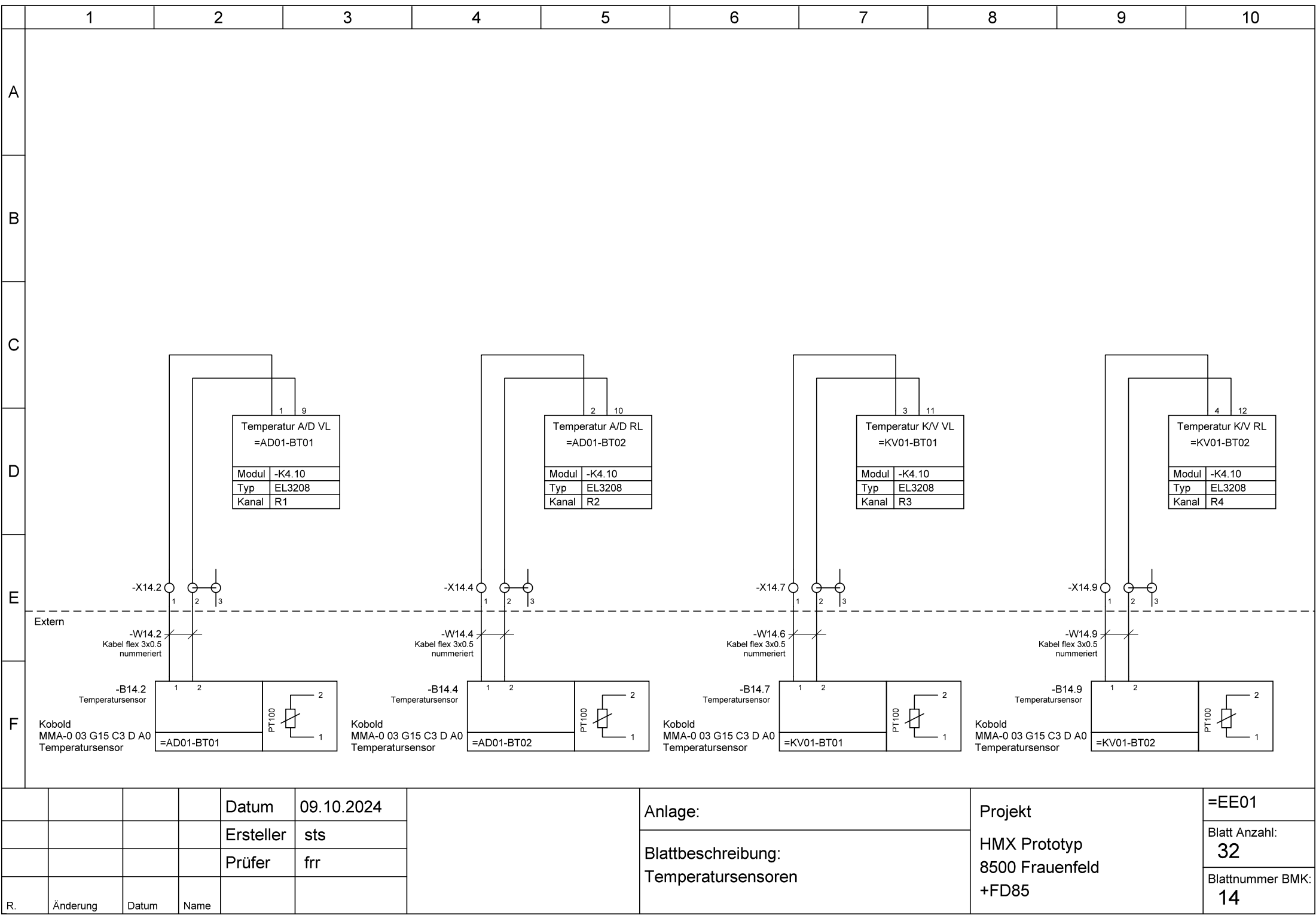




	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										
E	Extern									
F										

				Datum	09.10.2024
				Ersteller	sts
				Prüfer	frr
R.	Änderung	Datum	Name		

Anlage:	Projekt	=EE01
Blattbeschreibung: Ventile	HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	Blatt Anzahl: 32 Blattnummer BMK: 11



4

12

Temperatur K/V RL

=KV01-BT02

Modul	-K4.10
Typ	EL3208
Kanal	R4

-X14.9

1

2

3

-W14.9

Kabel flex 3x0.5 nummeriert

-B14.9

Temperatursensor

1

2

PT100

2

1

=KV01-BT02

Kobold

MMA-0 03 G15 C3 D A0

Temperatursensor

Extern

-B14.2

Temperatursensor

-B14.4

Temperatursensor

-B14.7

Temperatursensor

-B14.9

Temperatursensor

F

Kobold

MMA-0 03 G15 C3 D A0

Temperatursensor

Kobold

MMA-0 03 G15 C3 D A0

Temperatursensor

Kobold

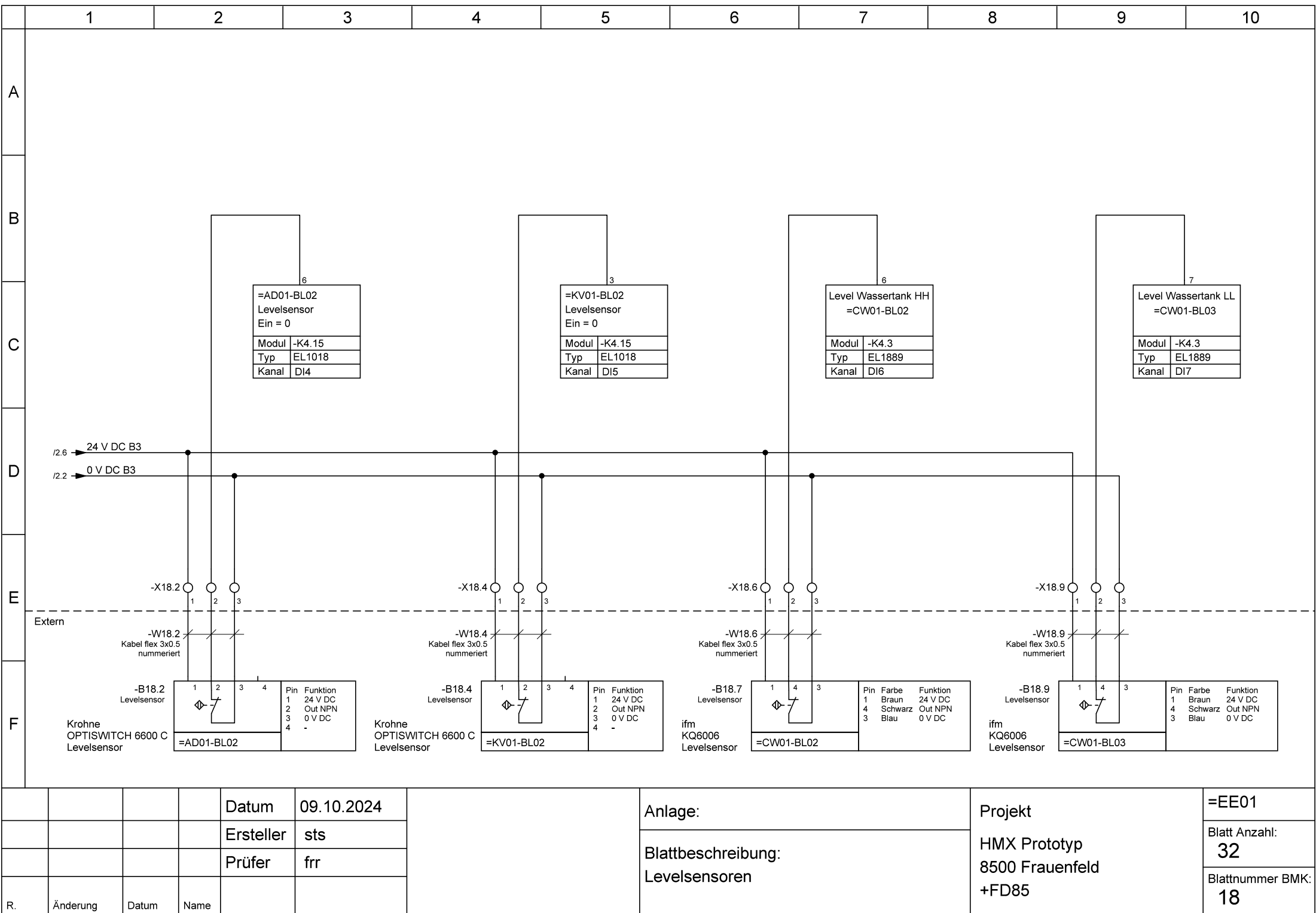
MMA-0 03 G15 C3 D A0

Temperatursensor

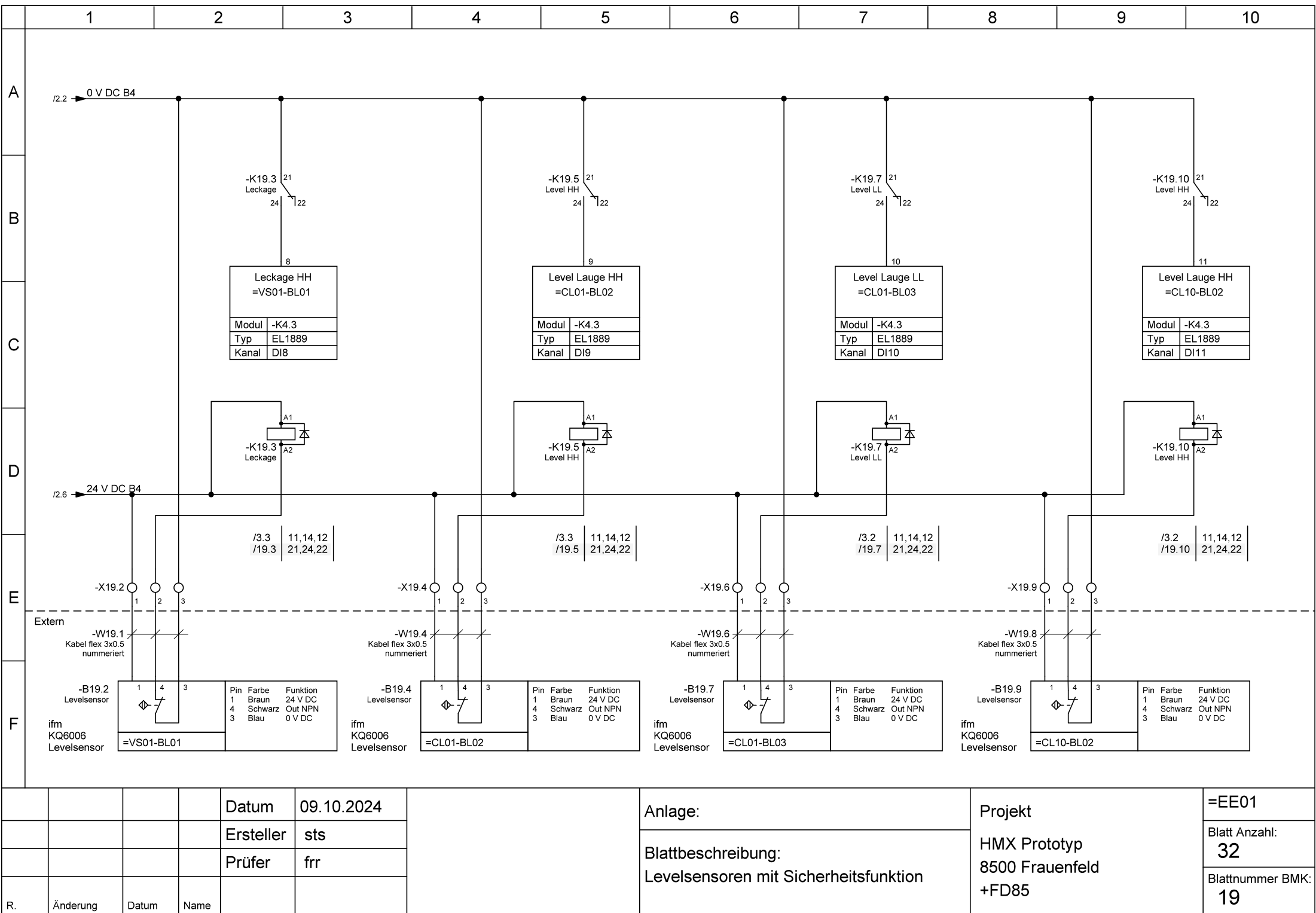
Kobold

MMA-0 03 G15 C3 D A0

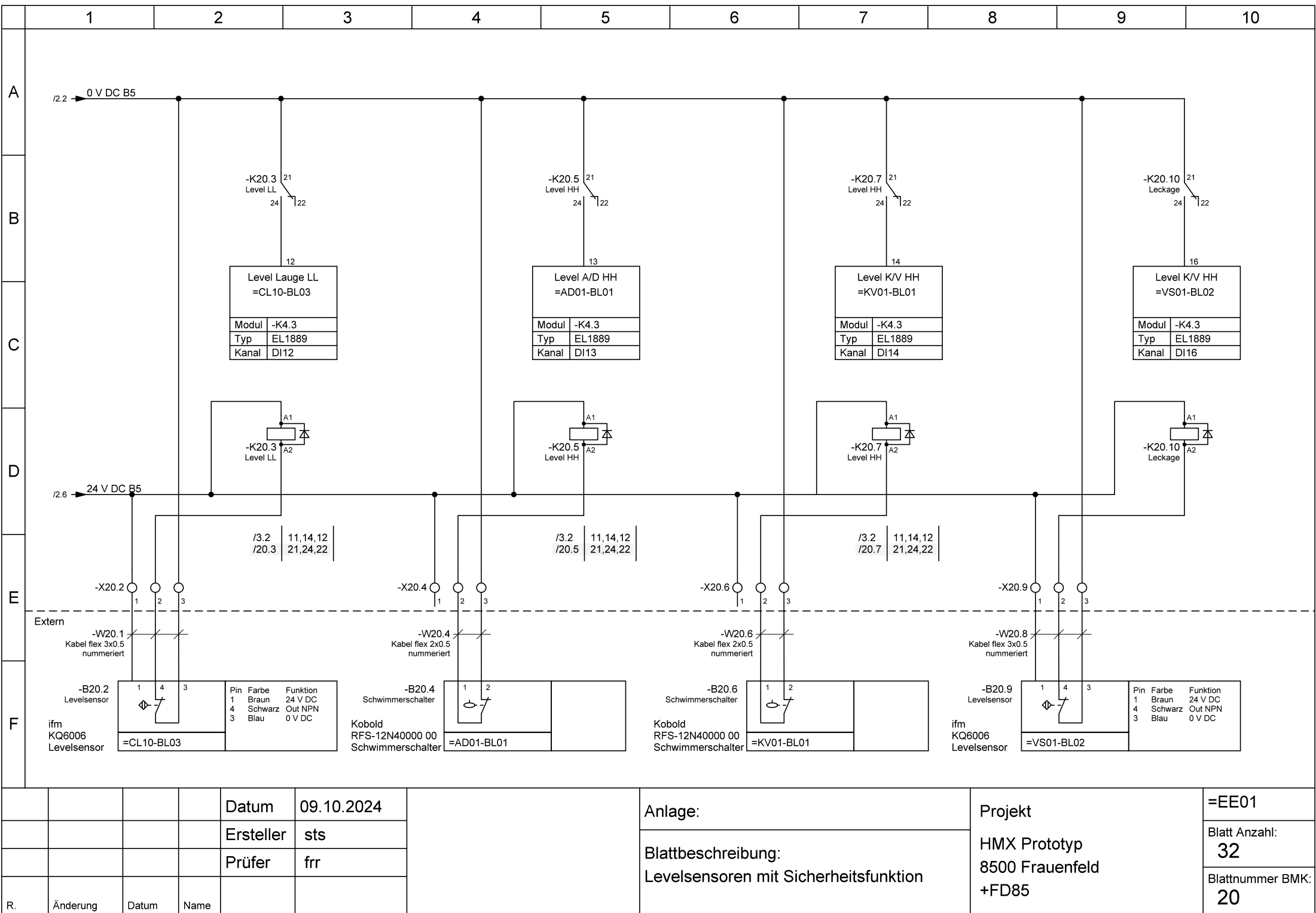
Temperatursensor



				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr			32
R.	Änderung	Datum	Name			Blattbeschreibung: Levensoren	HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	Blattnummer BMK:
								18



				Datum	09.10.2024		Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			HMX Prototyp	Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr		Blattbeschreibung:	8500 Frauenfeld	32
							Levensensoren mit Sicherheitsfunktion	+FD85	Blattnummer BMK:
R.	Änderung	Datum	Name						19



				Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	=EE01
				Ersteller	sts				Blatt Anzahl:
				Prüfer	fr				32
R.	Änderung	Datum	Name			Blattbeschreibung:			Blattnummer BMK:
						Levensensoren mit Sicherheitsfunktion			20

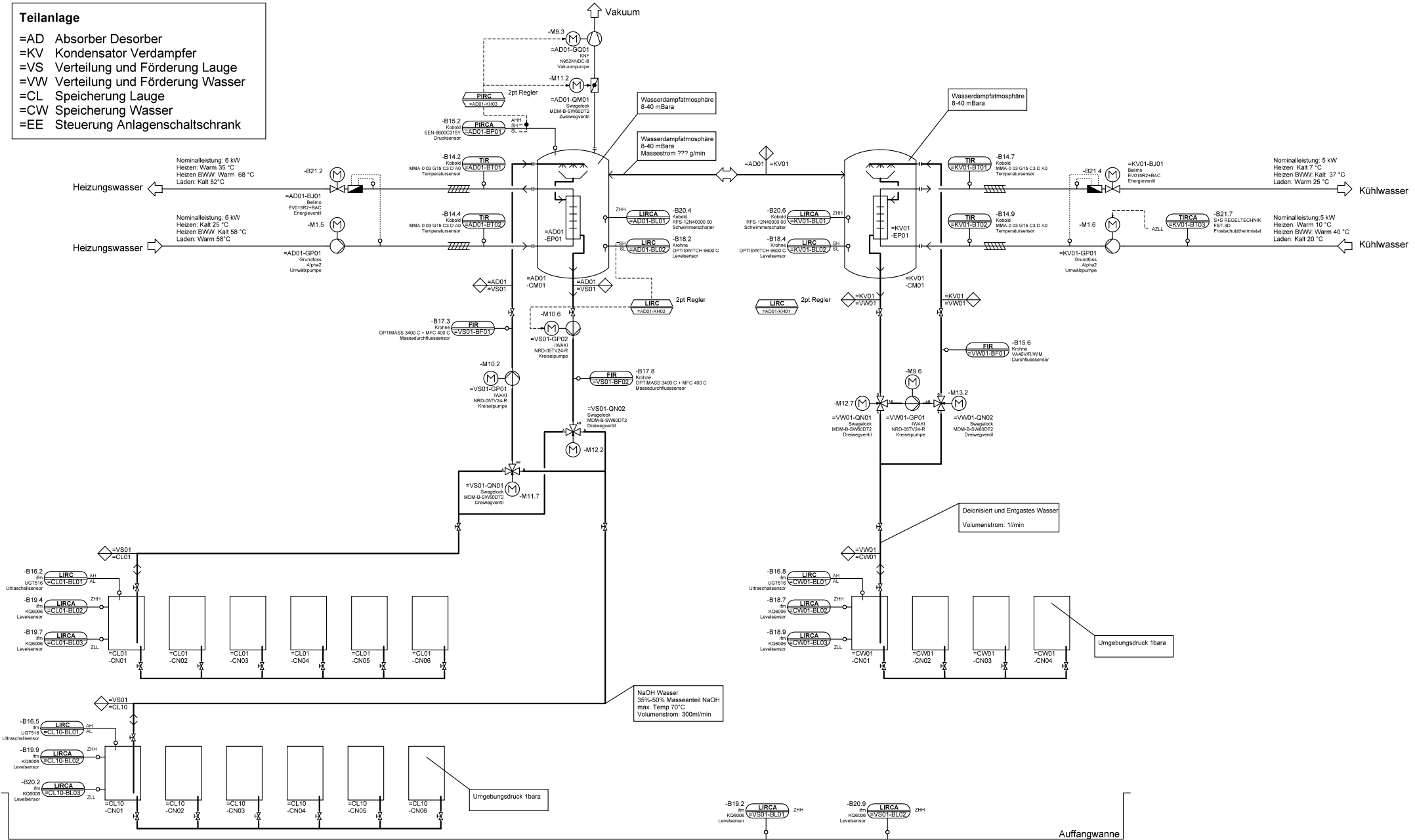
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Titelblatt Listen									
B										
C										
D										
E										
F										
				Datum	09.10.2024			Anlage:	Projekt	=EE01
				Ersteller	sts			Blattbeschreibung: Titelblatt Listen	HMX Prototyp	Blatt Anzahl: 32
				Prüfer	fr				8500 Frauenfeld	Blattnummer BMK: 22
									+FD85	
R.	Änderung	Datum	Name							

		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
A		K4.2 EL1889 16-Kanal-Digital-Eingang, 24 V DC, 3 ms, masseschaltend						K4.5 EL2819 16-Kanal-Digital-Ausgang, 24 V DC, 0,5 A, mit Diagnose						K4.8 EL3058 8-Kanal-Analog-Eingang, Strom, 4...20 mA							
		/6.4	DI1	1	Anforderung Laden			/7.4	DO1	1	Alarm Prio 1			/15.3	AI1	1	Druck				
B		/6.5	DI2	2	Anforderung Heizen			/7.5	DO2	2	Alarm Prio 2			/15.7	AI2	5	Durchfluss				
		/6.6	DI3	3	Anforderung BWW			/7.6	DO3	3	Laden Bereit			/16.3	AI3	2	Level Tank				
		/6.7	DI4	4	Leistungsstufe 1			/7.7	DO4	4	Entladen Bereit			/16.6	AI4	6	Level Tank				
		/6.8	DI5	5	Leistungsstufe 2			/7.8	DO5	5	Anlage Ein			/16.9	AI5	3	Level Tank				
		/6.9	DI6	6	Leistungsstufe 3			/7.9	DO6	6	Anlage Watchdog										
		/8.2	DI7	7	Not-Aus ausgelöst			/8.6	DO7	7	Alarm Signalisierung										
		/8.3	DI8	8	Lastkreisüberwachung			/8.7	DO8	8	Betrieb Signalisierung										
		/8.4	DI9	9	Betriebswahlschalter			/8.9	DO9	9	Watchdog										
		/8.5	DI10	10	Quittierung Vorort			/9.2	DO10	10	Vakuumpumpe Ein										
								/9.6	DO11	11	Pumpe Ein										
C		K4.3 EL1889 16-Kanal-Digital-Eingang, 24 V DC, 3 ms, masseschaltend						K4.6 EL2819 16-Kanal-Digital-Ausgang, 24 V DC, 0,5 A, mit Diagnose						K4.10 EL3208 8-Kanal-Analog-Eingang, Temperatur, RTD (Pt100)							
		/16.4	DI1	1	Tank Level Grenzwert			/11.2	DO1	1	Ventil Output 1			/14.3	R1	1,9	Temperatur A/D VL				
		/16.7	DI2	2	Tank Level Grenzwert			/11.3	DO2	2	Ventil Output 2			/14.5	R2	2,10	Temperatur A/D RL				
		/16.10	DI3	3	Tank Level Grenzwert			/11.7	DO3	3	Ventil Output 1			/14.7	R3	3,11	Temperatur K/V VL				
		/18.3	DI4	4	Level H A/D			/11.8	DO4	4	Ventil Output 2			/14.10	R4	4,12	Temperatur K/V RL				
		/18.5	DI5	5	Level H K/V			/12.2	DO5	5	Ventil Output 1										
		/18.7	DI6	6	Level Wassertank HH			/12.3	DO6	6	Ventil Output 2										
		/18.10	DI7	7	Level Wassertank LL			/12.7	DO7	7	Ventil Output 1										
		/19.3	DI8	8	Leckage HH			/12.8	DO8	8	Ventil Output 2										
		/19.5	DI9	9	Level Lauge HH			/13.2	DO9	9	Ventil Output 1										
D		/19.7	DI10	10	Level Lauge LL			/13.3	DO10	10	Ventil Output 2										
		/19.10	DI11	11	Level Lauge HH																
		/20.3	DI12	12	Level Lauge LL																
		/20.5	DI13	13	Level A/D HH																
		/20.7	DI14	14	Level K/V HH																
		/21.8	DI15	15	Frost Alarm LL																
E		K4.4 EL1809 16-Kanal-Digital-Eingang, 24 V DC, 3 ms						K4.7 EL4008 8-Kanal-Analog-Ausgang, Spannung, 0...10 V						Signalbeschreibung Klemmennummer SPS Kanal Seitenverweis /XX.XX IOX X,X Beschreibung							
		/11.3	DI1	1	Ventil Input 1			/9.7	AO1	1	Pumpe Drehzahl										
F		/11.4	DI2	2	Ventil Input 2			/10.3	AO2	5	Pumpe Drehzahl										
		/11.8	DI3	3	Ventil Input 1			/10.7	AO3	2	Pumpe Drehzahl										
		/11.9	DI4	4	Ventil Input 2																
		/12.3	DI5	5	Ventil Input 1																
		/12.4	DI6	6	Ventil Input 2																
		/12.8	DI7	7	Ventil Input 1																
		/12.9	DI8	8	Ventil Input 2																
		/13.3	DI9	9	Ventil Input 1																
		/13.4	DI10	10	Ventil Input 2																
					Datum	09.10.2024	Anlage:					Projekt					=EE01				
					Ersteller	sts											Blatt Anzahl:		32		
					Prüfer	frr											Blattnummer BMK:		23		
R.	Änderung	Datum	Name			Blattbeschreibung: IO Liste Analog Digital					HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85										

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Bezeichner	Beschreibung	Art	Schirm	Bezeichner	Beschreibung	Art	Schirm		
	-W1.3	Kabel 3x1.5	LNPE		-W18.9	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
	-W1.5	Kabel 3x1.5	LNPE							
B	-W1.6	Kabel 3x1.5	LNPE		-W19.1	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
					-W19.4	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
	-W10.2	Kabel flex 3x1	nummeriert		-W19.6	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
C	-W10.6	Kabel flex 3x1	nummeriert		-W19.8	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
	-W11.2	Kabel flex 8x1	nummeriert		-W20.1	Kabel flex 3x0.5	nummeriert			
D	-W11.7	Kabel flex 8x1	nummeriert		-W20.4	Kabel flex 2x0.5	nummeriert			
					-W20.6	Kabel flex 2x0.5	nummeriert			
	-W12.2	Kabel flex 8x1	nummeriert							
E	-W12.7	Kabel flex 8x1	nummeriert		-W21.2	Kabel flex 2x0.5	nummeriert			
					-W21.3	Patchkabel	RJ45			
	-W13.2	Kabel flex 8x1	nummeriert		-W21.4	Kabel flex 2x0.5	nummeriert			
F					-W21.5	Patchkabel	RJ45			
	-W14.2	Kabel flex 3x0.5	nummeriert		-W21.7	Kabel flex 2x0.5	nummeriert			
	-W14.4	Kabel flex 3x0.5	nummeriert							
G	-W14.6	Kabel flex 3x0.5	nummeriert		-W3.2	Kabel flex 2x0.5				
	-W14.9	Kabel flex 3x0.5	nummeriert							
					-W5.2	Patchkabel RJ45				
H	-W15.2	Kabel flex 2x0.5	nummeriert	geschirmt	-W5.3	USB Kabel				
	-W15.6	Kabel flex 2x0.5	nummeriert	geschirmt	-W5.4	DVI Kabel				
					-W5.8	Patchkabel RJ45				
I	-W16.2	Kabel flex 4x0.5	nummeriert	geschirmt						
	-W16.5	Kabel flex 4x0.5	nummeriert	geschirmt	-W6.2	Kabel flex 8x0.5	nummeriert			
	-W16.8	Kabel flex 4x0.5	nummeriert	geschirmt						
J					-W7.2	Kabel flex 8x0.5	nummeriert			
	-W17.2	Kabel flex 3x0.5	nummeriert mit PE							
	-W17.4	Kabel flex 2x0.5	nummeriert	geschirmt	-W9.6	Kabel flex 3x1	nummeriert			
K	-W17.7	Kabel flex 3x0.5	nummeriert mit PE							
	-W17.8	Kabel flex 2x0.5	nummeriert	geschirmt						
L	-W18.2	Kabel flex 3x0.5	nummeriert							
	-W18.4	Kabel flex 3x0.5	nummeriert							
	-W18.6	Kabel flex 3x0.5	nummeriert							
				Datum	09.10.2024	Anlage: Blattbeschreibung: Kabelliste		Projekt HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85		=EE01
				Ersteller	sts					Blatt Anzahl:
				Prüfer	frr					32
R.	Änderung	Datum	Name							Blattnummer BMK: 24

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										
E										
F										
				Datum	09.10.2024	Anlage:		Projekt	=EE01	
				Ersteller	sts			HMX Prototyp 8500 Frauenfeld +FD85	Blatt Anzahl: 32	
				Prüfer	frr	Blattbeschreibung: Titelblatt Verfahrens Fliessschema			Blattnummer BMK: 25	
R.	Änderung	Datum	Name							

- Teilanlage**
- =AD Absorber Desorber
 - =KV Kondensator Verdampfer
 - =VS Verteilung und Förderung Lauge
 - =VW Verteilung und Förderung Wasser
 - =CL Speicherung Lauge
 - =CW Speicherung Wasser
 - =EE Steuerung Anlagenschaltschrank



			Datum	09.10.2024	Anlage:	Projekt	=EE01
			Ersteller	sts	Blattbeschreibung:	HMX Prototyp	Blatt Anzahl:
			Prüfer	frr	R&I Schema	8500 Frauenfeld	32
Änderung	Datum	Name				+FD85	Blattnummer BMK:
							26

Sorptionsspeicher-Wärmepumpe – Sensoren und Aktoren

Autor: Nicolas Staubli

Datum: 19.03.2024

geändert durch: am:

Sensoren und Aktoren: Zustände

M1.3 (Vakuumpumpe):

- Zustand 0: abgeschaltet
- Zustand 1: eingeschaltet (volle Leistung)

M1.5 (Pumpe):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: volle Leistung

M1.6 (Pumpe):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: volle Leistung

M9.6 (Pumpe):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: geregelter Betrieb
- Zustand 2: volle Leistung

M10.2 (Pumpe):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: geregelter Betrieb Laden
- Zustand 2: geregelter Betrieb Entladen
- Zustand 3: volle Leistung

M10.6 (Pumpe):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: geregelter Betrieb
- Zustand 2: volle Leistung

M11.2 (Zweiwegventil):

- Zustand 0: geschlossen
- Zustand 1: geöffnet

M11.7 (3/2-Weg-Ventil):

- Zustand 0: mittlere Position (geschlossen)
- Zustand 1: zu definierende Position (für A-AB/AB-A offen)
- Zustand 2: zu definierende Position (für B-AB/AB-B offen)

M12.2 (3/2-Weg-Ventil):

- Zustand 0: mittlere Position (geschlossen)
- Zustand 1: zu definierende Position (für A-AB/AB-A offen)

- Zustand 2: zu definierende Position (für B-AB/AB-B offen)

M12.7 (3/2-Weg-Ventil):

- Zustand 0: mittlere Position (geschlossen)
- Zustand 1: zu definierende Position (für A-AB/AB-A offen)
- Zustand 2: zu definierende Position (für B-AB/AB-B offen)

M13.2 (3/2-Weg-Ventil):

- Zustand 0: mittlere Position (geschlossen)
- Zustand 1: zu definierende Position (für A-AB/AB-A offen)
- Zustand 2: zu definierende Position (für B-AB/AB-B offen)

B14.2 (Temperatursensor):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: misst die Temperatur

B14.4 (Temperatursensor):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: misst die Temperatur

B14.7 (Temperatursensor):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: misst die Temperatur

B14.9 (Temperatursensor):

- Zustand 0: ausgeschaltet
- Zustand 1: misst die Temperatur

B15.2 (Drucksensor):

- Zustand 0: Druck ist unter/gleich dem Sollwert (Dampfdruck in Abhängigkeit der Verdampfer-/Kondensatortemperatur)
- Zustand 1: Druck ist über dem Sollwert (Dampfdruck in Abhängigkeit der Verdampfer-/Kondensatortemperatur)

B15.6 (Durchflussmessgerät)

- Zustand 0: kein Durchfluss (ausgenommen Messrauschen)
- Zustand 1: Durchfluss

B16.2 (Radar Füllstandsensor):

- Zustand 0: Wert innerhalb des Sollbereiches
- Zustand 1: Wert unterhalb des Sollbereiches
- Zustand 2: Wert oberhalb des Sollbereiches

B16.5 (Radar Füllstandsensor):

- Zustand 0: Wert innerhalb des Sollbereiches
- Zustand 1: Wert unterhalb des Sollbereiches
- Zustand 2: Wert oberhalb des Sollbereiches

B16.8 (Radar Füllstandsensor):

- Zustand 0: Wert innerhalb des Sollbereiches
- Zustand 1: Wert unterhalb des Sollbereiches
- Zustand 2: Wert oberhalb des Sollbereiches

B17.3 (Durchflussmessgerät)

- Zustand 0: kein Durchfluss (ausgenommen Messrauschen)
- Zustand 1: Durchfluss

B17.8 (Durchflussmessgerät)

- Zustand 0: kein Durchfluss (ausgenommen Messrauschen)
- Zustand 1: Durchfluss

B18.2 (Levelsensor):

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B18.4 (Levelsensor):

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B18.7 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B18.9 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B19.2 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B19.4 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B19.7 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B19.9 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B20.2 (Levelsensor)

- Zustand 0: misst keinen Füllstand

- Zustand 1: misst einen Füllstand

B20.4 (Schwimmerschalter):

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B20.6 (Schwimmerschalter):

- Zustand 0: misst keinen Füllstand
- Zustand 1: misst einen Füllstand

B21.2 (Energieventil):

- Zustand 0: geschlossen
- Zustand 1: geregelter Betrieb
- Zustand 2: offen

B21.4 (Energieventil):

- Zustand 0: geschlossen
- Zustand 1: geregelter Betrieb
- Zustand 2: offen

SorpStor

Workpackage 4

Autor:innen Prof. Isabel Rosa Müggler
Zumstein; Johanna Pöhler; Angela Wicki

Prozess

In diesem Projekt wird die Funktionalität eines Sorptionswärmespeichers für die Wärmeübertragung vom Sommer in den Winter in einem Gebäude demonstriert. Die Stadt Frauenfeld hat ein neu errichtetes Gebäude für die Integration eines saisonalen Sorptionswärmespeichers vorbereitet. An der HSLU wird auf diesem Gebiet geforscht und entwickelt, eine Proof-of-Concept-Anlage im Massstab eines Einfamilienhauses wurde gebaut und im Labor erfolgreich betrieben. In Zusammenarbeit mit der Firma Matica AG und aufbauend auf den Arbeiten des vom BFE geförderten Projektes SI/501605-01 wird nun ein Felddemonstrator gebaut, installiert und betrieben. Aus diesen Arbeiten werden wertvolle Erkenntnisse zur Systemintegration des Sorptions-wärmespeichers in die Gebäudeumgebung sowie Betriebs-erfahrungen gewonnen.

Diese Sorptionswärmespeichertechnologie hat das Potenzial, den winterlichen Strombedarf von Gebäuden für Heizzwecke deutlich zu reduzieren und somit als kostengünstige virtuelle Batterie einen Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Der Demonstrator wird für Besichtigungen zur Verfügung stehen und dazu dienen, die Öffentlichkeit über diese neue Speichertechnologie aufzuklären.

Inhaltsverzeichnis

1.1	Vorbemerkung Dokumentation WP4	2
1.2	Arbeitspaket 4: Dissemination	2
1.3	Resultate	3
1.4	Methoden und Modelle	13
1.5	Bewertung	15
	Verzeichnisse	16
	Abbildungsverzeichnis	16
	Anhang	17

1.1 Vorbemerkung Dokumentation WP4

Das WP4 ist Bestandteil eines Drittmittel-finanzierten Proejkts mit Lead HSLU T&A. Von August 2023 bis Juni 2024 ist gemeinsam in einem internen HSLU-Projekt (CH-Stor) untersucht worden, wie die Komplexität einer technologischen Innovation im Bereich nachhaltiger Energiespeicherung für potenzielle Nutzer:innen einfach erläutert und greifbar gemacht werden kann. Um diese Herausforderung zu bewältigen, wurden der ganzheitliche Akteurinnen-Integrations-Ansatz von Latour (Wieser, 2014) sowie die Methode Theory of Change (Belcher & Claus, 2020) angewendet. Die Ergebnisse dieses ITC-Projektes bilden die Ausgangslage für die Datenerhebungen zur Kund:innenwahrnehmung, die im Drittmittel-finanzierten Projekt im Workpackage 4) erarbeitet worden sind.

Im Rahmen dieses Vorprojekts CH-Stor wurde eine Literaturrecherche zu den Themen Behaviour Change, Social Acceptance und der Bedeutung des Narrativs durchgeführt. Bei der Datenerhebung zur Produktakzeptanz werden die Erkenntnisse aus dieser Recherche als State of the Art für die Datenerhebung verwendet. Dabei stehen die Begriffe Social Acceptance (Stadelmann-Steffen & Thalmann, 2021) und das Narrativ (Di Giulio & Defila, 2022) eine zentrale Rolle.

1.2 Arbeitspaket 4: Dissemination

Dieses Arbeitspaket wurde durch ein Team der Forschungsgruppe Produkt & Textil HSLU DFK durchgeführt. Ein Vermittlungskonzept für die SeasOn-Anlage wurde erarbeitet und evaluiert. Das Augenmerk lag auf der Vermittlung der technischen Komplexität und der Produktakzeptanz des SeasOn gegenüber diversen Stakeholdern. Um diese Aspekte zu untersuchen, wurden drei Ansatzpunkte gewählt:

- Erstens wurde die bestehende Kommunikation (Logo, Website, Video, Poster etc.) evaluiert.
- Zweitens wurde die Verständlichkeit der in der Kommunikation erhaltenen Facts & Figures geprüft.
- Drittens wurde die visuelle Wahrnehmung des installierten Systems befragt. Dies führte zu Erfahrungen hinsichtlich der Lesbarkeit der Anlage und ihrer Funktionsweise sowie Verständlichkeit der Technologie insgesamt.

Überblick der Aktivitäten und Ergebnisse

	Bemerkung
Aktivitäten	
Beobachtung und Verständnis der Wahrnehmung von nachhaltigen Produkten	
Tests zur Vereinfachung von technischer Komplexität von Produkten durch Nutzung visueller Analogien	
Kartieren von Assoziationen und Entwicklung eines Wertesystems	
Ermittlung potenzieller Nutzergruppen auf der Grundlage ihrer Bedürfnisse	
Umsetzung von Werten in Designwerkzeuge für Produktentwicklung und Kommunikation.	Teilweise erfüllt
Deliverables	
Issue und Stakeholder Mapping	
Nutzer-zentrierte Datensammlung: qualitative Umfrage, Workshops und Interviews	Teilweise erfüllt
Partizipative Szenario-Bildung	Teilweise erfüllt
Konzeptvalidierung, Customer Journey Mapping Visualisierungen, Anwendung in Frauenfeld.	Teilweise erfüllt

1.3 Resultate

Die bereits bestehenden Kommunikationsmittel und -formate, ausgehend von der Namensgebung, wurden analysiert und mit dem Team der T&A in einem internen Workshop überprüft. Konkret wurden folgende Medien in Bezug auf Lesbarkeit und visuelle Wahrnehmung ihrer Gestaltung evaluiert: Logo, Website, Video, Grafiken und Darstellungen. Durch die interne Analyse der bestehenden Kommunikationsmittel wurde ersichtlich, dass es neben dem Video und der Website, die eine erste Einführung in das Konzept und Funktionsweise der SeasOn-Anlage geben, detaillierte Ausführungen durch Facts & Figures zur Kommunikation benötigt werden.

Für das weitere Vorgehen wurde ein Stakeholder Mapping aus dem Vorgänger-Projekt IC-Stor (siehe Abbildung 1) zur Rate gezogen. Es wurden in einem internen Workshop des gesamten Sorp-Stor Projektteams, die für die kommenden zwei Jahren für die Technologie relevanten Stakeholder identifiziert.

In einem weiteren Schritt wurden diese Stakeholder in einer high interest/high influence Matrix eingeordnet (siehe Abbildung 2). Die folgenden Stakeholder wurden als high influence/high interest eingestuft: Wärmeerzeuger z.B. Rechenzentren; Immobilienbesitzer (für Sanierung/Umrüstung); Wärmenetzbetreibende; Industriegebäude; Gas/Erdöl-Lieferanten; Solaranlagen-Anbietende/Unternehmen. Anschliessend wurde deren Charakterisierung anhand eines Wertesystems analysiert, bei dem die Expert:innen der T&A und der Firma Matica AG die Motivation, Painpoints, Emotionen und Verkaufsargumente der high influence/high interest Stakeholder analysiert haben (siehe Abbildung 3). Herausstechend ist der gesellschaftliche und politische Druck auf Stakeholder zu nachhaltigeren Massnahmen und der Gleichzeitigkeit Wirtschaftlichkeit zu erhalten.

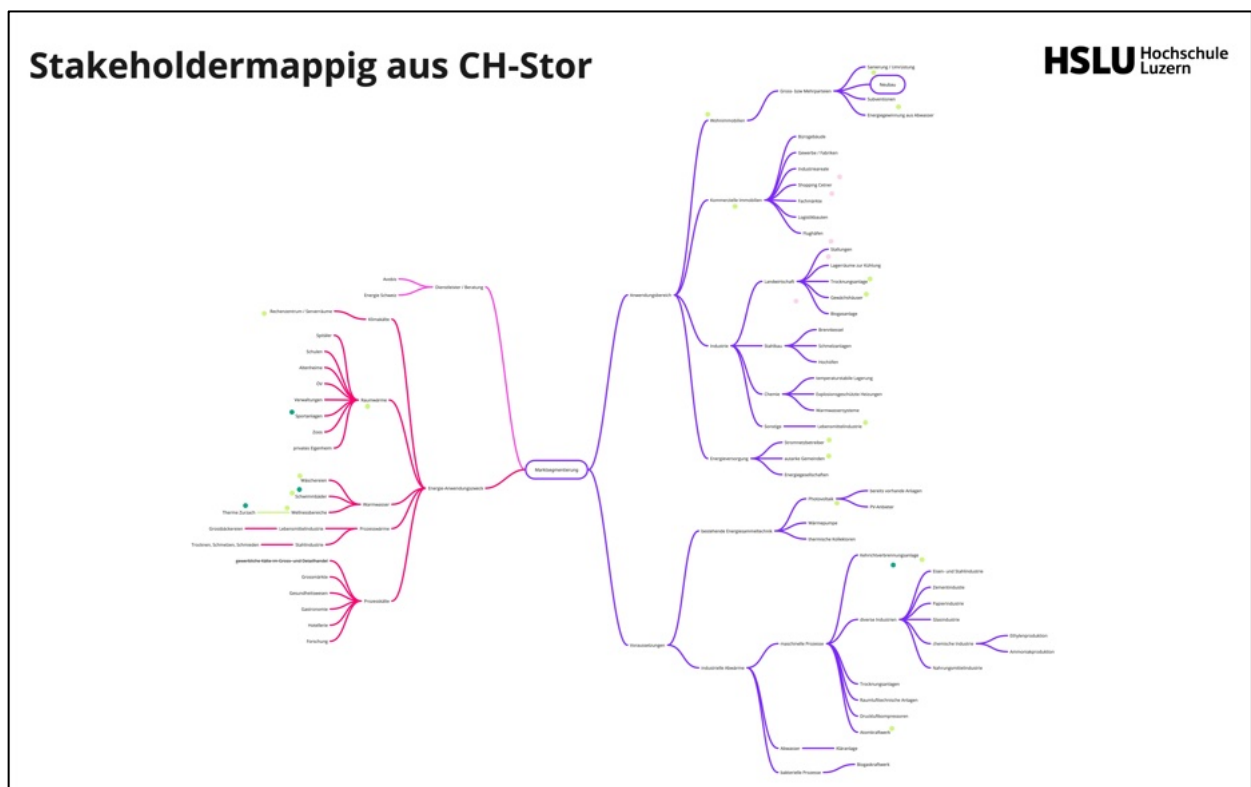


Abbildung 1: Stakeholdermapping aus Vorläuferprojekt CH-Stor

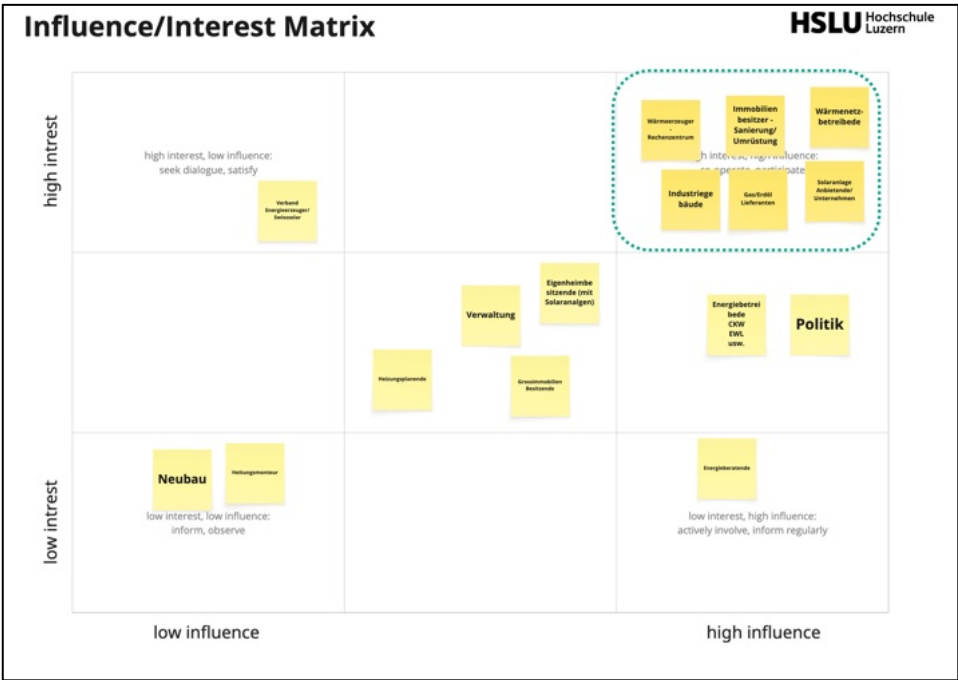


Abbildung 2: Influence/Intrest Matrix - Ergebnis Interner Workshop zum Thema Stakeholder

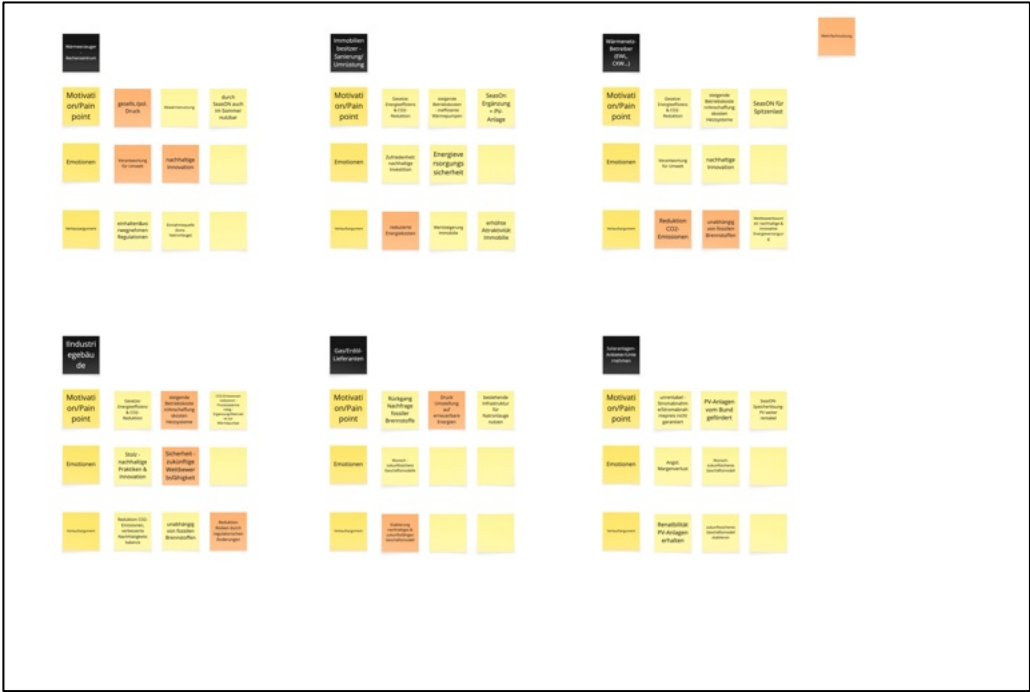


Abbildung 3: Charakterisierung - Ergebnis Interner Workshop zum Thema Stakeholder

Für die weitere visuelle Kommunikation wurde als Informationselement ein Poster (siehe Abbildung 4) erarbeitet, das in kurzen Absätzen Text die Herausforderungen von erneuerbaren Energien und die Funktionsweise des SeasOn erläutern. Zudem wurde eine grafische Darstellung der Funktionsweise sowie Darstellungen, die die Stromerzeugung und Strombedarfs abbilden, erarbeitet. Auf einem weiteren Poster (siehe Abbildung 5) wurde neben Photographien des technischen Prototyps eine grafische Darstellung für den Vergleich des SeasOn mit anderen Speichertechnologien abgebildet. Die Poster und graphischen Darstellungen wurden in Zusammenarbeit der HSLU mit der T&A und der Firma Matica erstellt.

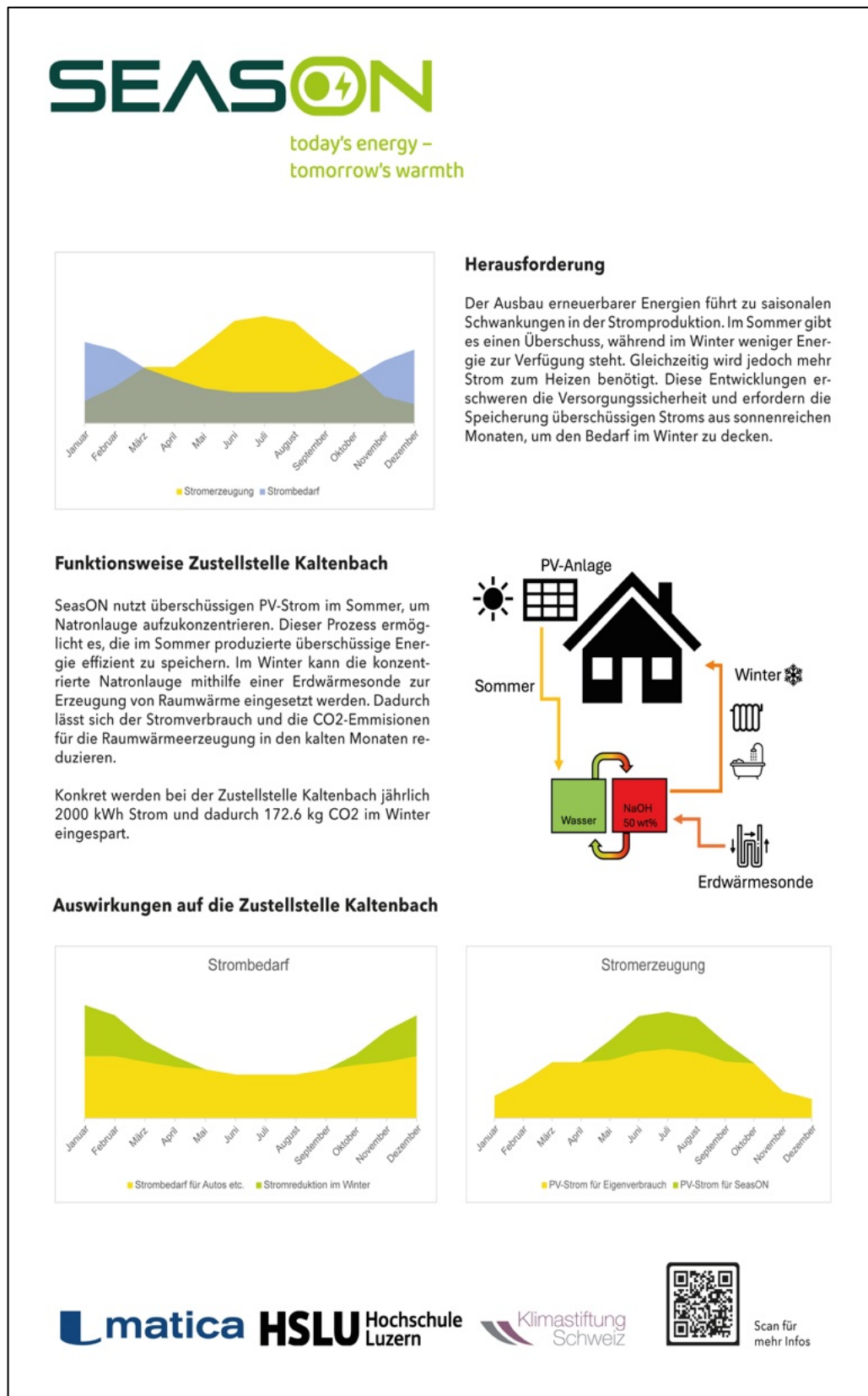


Abbildung 4: Poster Nr. 1 SeasOn, für Umfrage am Standort Kaltenbach

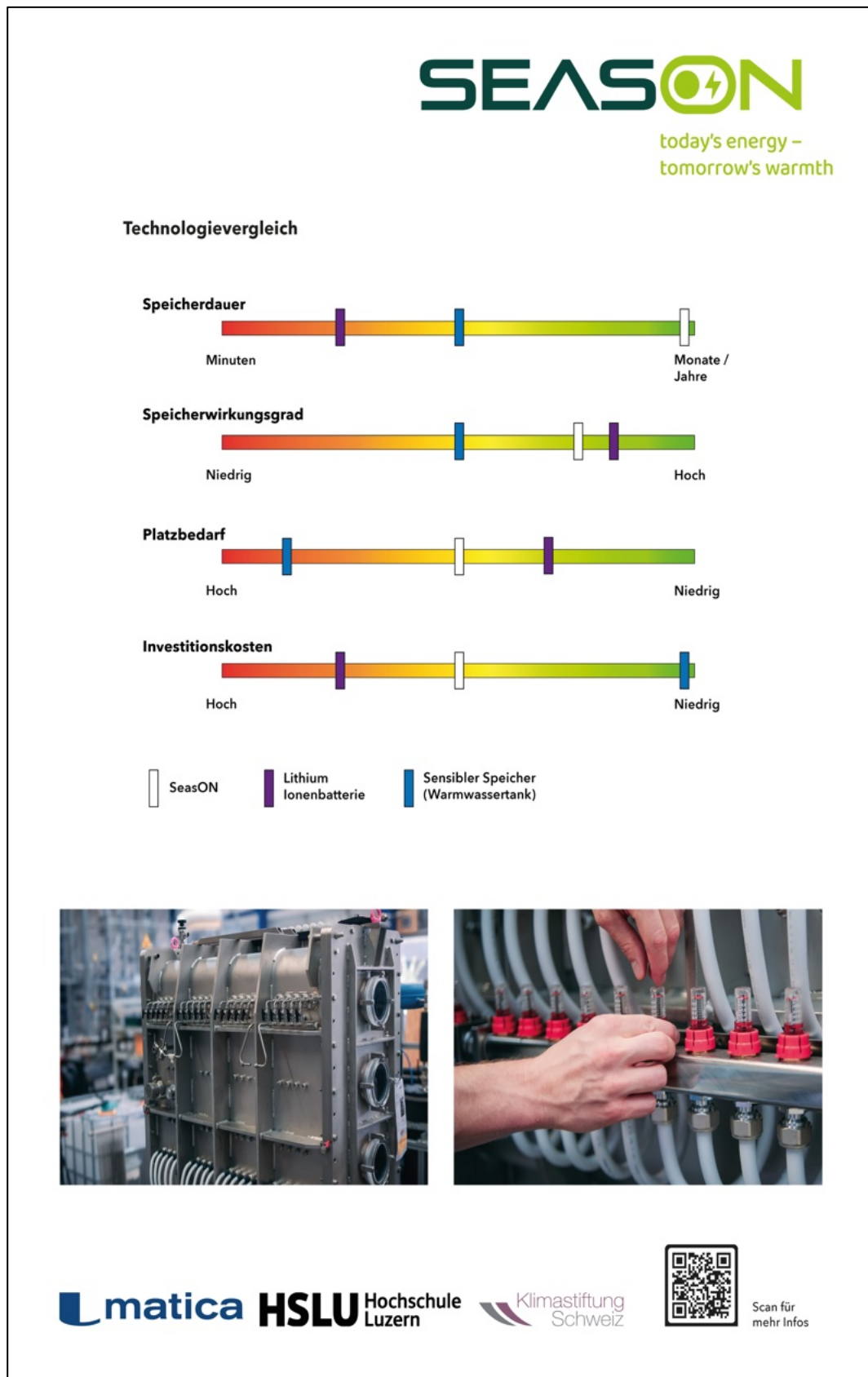


Abbildung 5: Poster Nr. 2 SeasOn, für Umfrage am Standort Kaltenbach

Die ersten Informationselemente wurden zusammen mit den bereits bestehenden Elementen wie Darstellungen, einem Video sowie Logo und Website mit einer qualitativen Befragung am 02.10.2024 im Rahmen der Aufrichte des Postverteilungszentrums mit geplanter SeasOn-Anlage in Kaltenbach evaluiert (siehe Abbildung 6). Dabei wurde überprüft, ob technische Daten (Grafiken, Darstellungen, Schemata) für verschiedene Stakeholder und Zielgruppen verständlich sind.

Die SeasOn-Lösung wurde allgemein als innovativ und positiv wahrgenommen. Die Technologie wurde auf einem oberflächlichen Niveau verstanden, doch Details konnten von den Befragten auf Nachfragen nicht korrekt wiedergegeben werden. Es gab Verständnisprobleme bei der Unterscheidung Strom und Wärme bei der Speicherfähigkeit sowie der speziellen Verwendung der Natronlauge und der Kombination der SeasOn-Anlage mit einer Erdwärmesonde. Bei der Frage, ob man das Produkt empfehlen würde, kommen in den Gesprächen mehrere Themen mehrfach auf, die durch die bisherigen Informationen nicht ausreichend geklärt wurden, für die Befragten: der Platzbedarf der Anlage, der Stromausgleich, die Kosten für z.B. ein Einfamilienhaus, die Effizienz, die Anwendungszwecke. Das generelle Stimmungsbild gibt wieder, dass die Energiedebatte in der Schweiz rege geführt wird und innovative Ideen zwar gerne gesehen werden, doch auch kritisch hinterfragt werden.

HSLU Hochschule Luzern SEASON Umfrage Richtfest Kaltenbach 02.10.2024 Verstehst du wie der Sorptionswärmespeicher funktioniert? - wenn nein was fehlt dir dazu? Was denkst du spontan darüber? Warum würdest du es empfehlen? - wenn ja warum? - wenn nicht warum?	HSLU Hochschule Luzern SEASON Umfrage Richtfest Kaltenbach 02.10.2024 Verstehst du wie der Sorptionswärmespeicher funktioniert? - wenn nein was fehlt dir dazu? Was denkst du spontan darüber? Warum würdest du es empfehlen? - wenn ja warum? - wenn nicht warum?
---	---

Abbildung 6: Umfragebogen zur Befragung am Richtfest Kaltenbach 2.10.2024

Eine iterative Weiterentwicklung der Poster als Informationselemente (siehe Abbildung 7 & 8) wurde für die Vermittlung der ersten Demonstrationsanlage des SeasOn in Frauenfeld durchgeführt und installiert. Zur besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit wurden einzelne Verbesserungen an den grafischen Darstellungen vorgenommen und Kernaussagen farblich

hervorgehoben. Zudem wurden die Photographien entfernt, da die Poster in Sichtweite zur Demonstrationsanlage installiert wurden.

Ergänzend zu den Postern wurden an der Anlage selbst Schilder installiert, die die Stoffkreisläufe in der Anlage visualisieren sollen, und so die Präsentation der Funktionsweise der SeasOn-Technologie unterstützen. Die graphische Entwicklung und Konstruktion der Anbringung wurde in enger Zusammenarbeit der Teams der DFK und T&A erarbeitet (Auswahl Mock-Ups siehe Abbildung 9 & 10). Es wurden vom Team der T&A Führungen durch die Demonstrationsanlage Frauenfeld für verschiedene Stakeholder durchgeführt und Eindrücke über die erfolgreiche Vermittlung gesammelt.

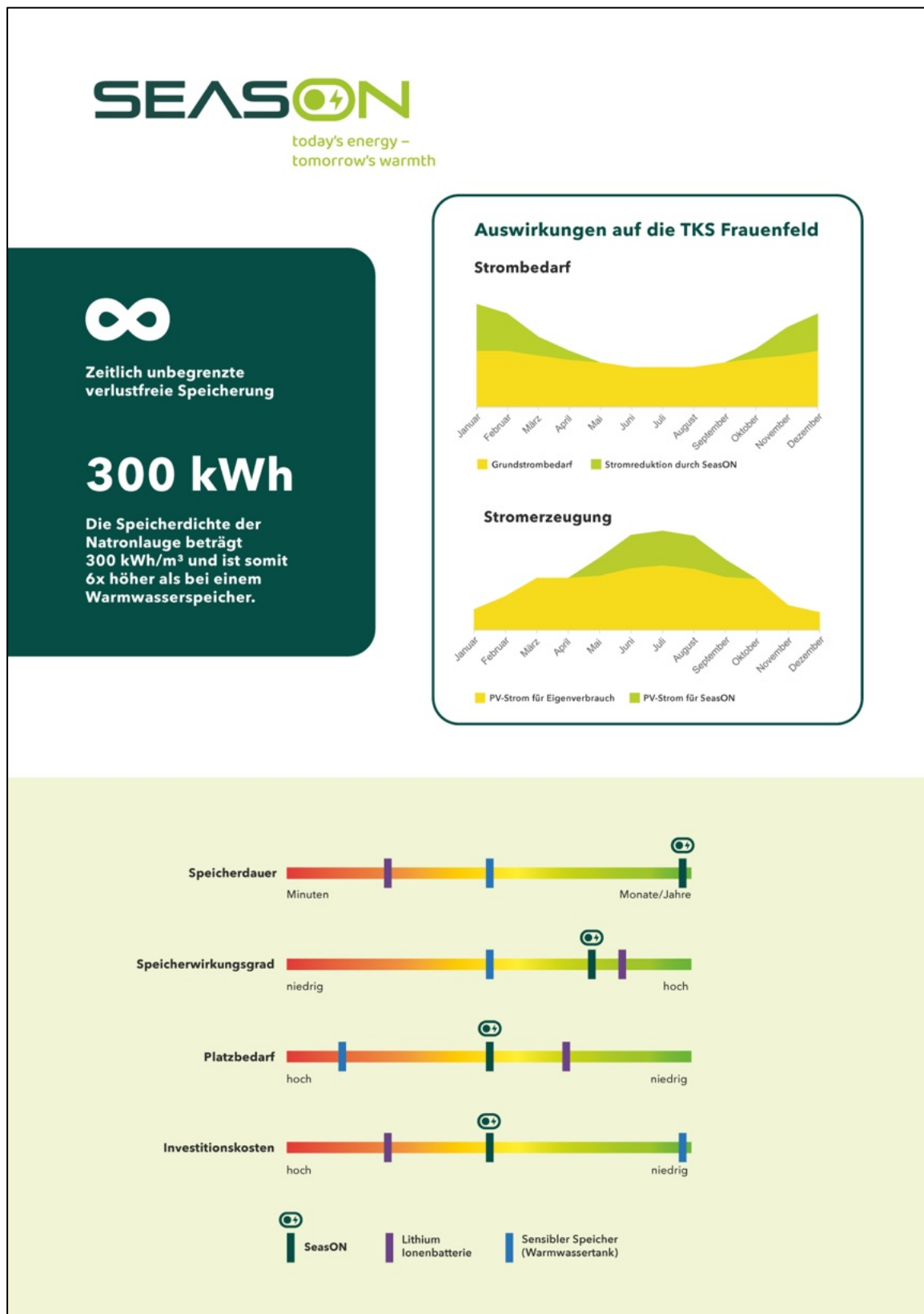


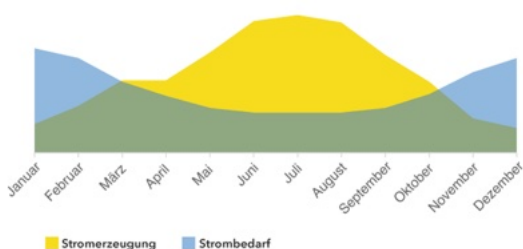
Abbildung 7: Poster Nr.3 für, Installation Standort Frauenfeld

SEASON

today's energy –
tomorrow's warmth

Herausforderung

Der Ausbau der erneuerbaren Energien führt zu saisonalen Schwankungen in der Stromerzeugung. Im Sommer gibt es einen Überschuss, während im Winter weniger Energie zur Verfügung steht. Gleichzeitig wird mehr Strom zum Heizen benötigt. Diese Entwicklungen erschweren die Versorgungssicherheit und erfordern die Speicherung von überschüssigem Strom und Wärme aus sonnenreichen Monaten zur Deckung des Bedarfs im Winter.



95%

Speicherwirkungsgrad
von bis zu 95%

Funktionsweise TKS Frauenfeld

SeasON nutzt überschüssigen PV-Strom im Sommer zur Aufkonzentrierung von Natronlauge. Dieser Prozess ermöglicht eine effiziente Speicherung der überschüssigen Energie im Sommer. Im Winter kann die konzentrierte Natronlauge zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser genutzt werden. Dadurch können der Stromverbrauch und die CO₂-Emissionen für die Heizung in den kalten Monaten reduziert werden.

Konkret werden in der TKS Frauenfeld im Winter jährlich 300 kWh Strom und damit 25,9 kg CO₂ eingespart.



www.season-swiss.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Energie BFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Stadt Frauenfeld

ENERGIE
STIFTUNG

NOVUS
engineering

HSLU Hochschule
Luzern

Klimastiftung
Schweiz

matica

Abbildung 8: Poster Nr.4, für Installation Standort Frauenfeld

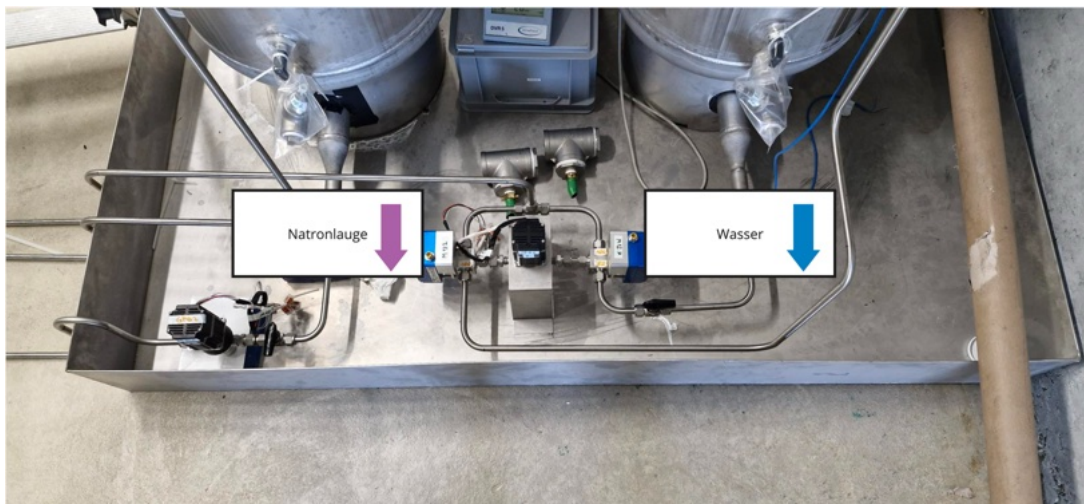


Abbildung 9 - Mock Up 1 Beschriftung Demonstrationsanlage Frauenfeld



Abbildung 10 - Mock Up 2 Beschriftung Demonstrationsanlage Frauenfeld

1.4 Methoden und Modelle

Im Forschungsprozess und im produktiven Austausch zu Inhalten aus dem Design sind mehrere Methoden, Theorie-Modelle und Design-Tools angewendet worden. Sie dienten gezielt dem Erkenntnisgewinn sowie der Darlegung von Erkenntnissen innerhalb der Projektgruppe, sowie gegenüber Dritten.

Situationsanalyse

Diese Methodik dient zur Ermittlung von Adressat:innen sowie Stakeholder-Gruppen (El-Maawi et al. (2019), S. 148), die mit einer Thematik in Verbindung stehen. Die Visualisierung dieser identifizierten Personengruppen, Firmen, Institutionen, sowie auch der nicht personalisierten Akteur:innen wie Energie, Ressourcen etc. werden in einer Visualisierung vernetzt dargestellt, um die Relationen zueinander sowie Zusammenhänge zu verdeutlichen.

Gerade während der Einarbeitung in ein Thema zu Beginn eines Projekts ist die Situationsanalyse wichtig, um die Adressat:innen mit den jeweiligen Perspektiven miteinzubeziehen und dadurch wichtige Risiken und Chancen für die Implementierung und seine Wirkungskraft hin zu nachhaltigen Systemen zu erkennen. (El-Maawi, R., Willener, A., Friz, A., Gretler-Heusser, S., Stade, P., & Stäheli, R. (2019). *Integrale Projektmethodik*. interact. Online verfügbar über: <https://zenodo.org/records/3521543>)

➔ Durch die Anwendung der Methode Situationsanalyse wurde es möglich die Hauptakteure für die Kommunikation und Besprechung des Themas zu identifizieren.

Forschungsdesign: Theory of Change

In der Zusammenarbeit mit Forschenden in der Technik wurden von Forschenden mit Hintergrund Design mehrere Designansätze in Form von Theorie-Modelle eingeführt.

- Theory of Change

Die Theory of Change (ToC) ist ein Modell zur Definition einer Vision sowie der Strukturierung eines daran angelehnten Veränderungsprozesses. Sie beschreibt und erklärt, wie und warum eine Reihe von Aktivitäten zu einem Veränderungsprozess führen oder dazu beitragen soll. Der ToC Ansatz erkennt an, dass sozio-ökologische Systeme komplex sind und dass kausale Prozesse oft nichtlinear sind und vielfältige Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen aufweisen. Ein ToC beschreibt die Stakeholder, die an dem Prozess beteiligt sind, identifiziert ihre Handlungen als eine Abfolge von Schritten oder Phasen des Prozesses und spezifiziert die Gründe für die Veränderungen. (Belcher & Claus, 2020)

➔ Durch die Anwendung der Theory of Change konnte eine Vision formuliert, sowie Schlüsselakteur:innen im Veränderungsprozess identifiziert werden.

Darstellung der Eigenschaften anhand von Polaritätsprofilen

Für die Darstellung der Eigenschaften der Speichertechnologie wurden sog. Gegensatz-Skalen angewendet. Sie erlauben das schnelle Erfassen und Einordnen von Aspekten in Bezug auf deren Gegenteil.

Diese Darstellung wird in der Methode Semantisches Differenzial genutzt, um durch Teilnehmende Facts & Figures (technische Daten) auf einer Skala (z. B. kompliziert-einfach, sicher-gefährlich) individuell und spontan zu verorten.

Das Verfahren des Semantischen Differentials (auch Polaritätsprofil) entstammt der Psychologie und wurde entwickelt, um zu ermitteln, welche Assoziationen, Bedeutungen oder Bewertungen Personen mit bestimmten Objekten (Produkten, Materialien, Brands etc.) verbinden. Im Kontext des Designs wird das Semantische Differential in der Theorie der Produktsprache zur Erhebung der Anmutungen von Produkten oder Brands als Teilaspekt der

Symbolfunktionen angewendet. Wobei Testpersonen ein Fragebogen aus Gegensatzbegriffen als skalierter Assoziationstest vorgelegt wird. Die Ergebnisse können danach mit relativ geringem statistischem Aufwand verrechnet und auf Zielgruppen bezogen werden. (vgl. Schwer und Vöckler, 2021)

➔ In der Visualisierung hat das Forschungsteam damit eine möglichst klare, verständliche und somit durch Besuchende schnell erfassbare Charakterisierung der komplexen Technik angestrebt.

1.5 Bewertung

Die bis zum vorzeitigen Ende der Arbeit des Teams der DFK gewonnenen Resultate entsprechen den Erwartungen in Bezug auf die geplanten Deliverables.

Vertreter der identifizierten Stakeholder waren sowohl bei der Aufrichte in Kaltenbach anwesend und somit Teil der Umfrage als auch wurden sie durch das Team der T&A durch die Demonstrationsanlage geführt. Die Gruppe der Privatkunden sollte in Zukunft als wichtiger Stakeholder aufgenommen werden. Vor allem in der Umfrage und in Unterhaltungen während der Aufrichte in Kaltenbach wurde eindeutig, dass der Privatkunde eine treibende Kraft in der Diskussion und Partizipation zu mehr nachhaltiger Energie spielen möchte. Es wurde mehrmals nach konkreten Kosten- und Platzbedarfsbeispielen für ein Einfamilienhaus oder ein Mehrparteienhaus mit Wohnungen gefragt.

Die gestalteten Kommunikationsmittel und Designinterventionen wurden positiv von den Stakeholdern aufgenommen und als verständlich wahrgenommen. Es wurde ein gutes Mass gefunden zwischen der verständlichen Erläuterung der Funktionsweise der SeasOn-Anlage und der Komplexität der Technologie mittels kurzer Textsegmente und Piktogramme. Für die verbale Erklärung der SeasOn-Anlage oder der Erläuterung im Video sollte sich etwas mehr Zeit gelassen werden. Bei der Aufrichte gab es Missverständnisse zur Funktionsweise, die zu falschen Erwartungen führen könnten (Speicherung von Wärme statt Strom).

In einer gestalterischen Iteration sollten Beispielrechnungen von Kosten und Platzbedarf für verschiedene Anwendungsszenarien folgen, wie z. B. Einfamilienhaus, Schulgebäude etc. Zudem sollte nochmal mit Stakeholdern gesprochen werden, um Entscheidungsträger:innen für eine Installation einer SeasOn-Anlage zu identifizieren und mit diesen in den Austausch zu treten.

Für eine weitere Iteration der Kommunikationsstrategie sollte ein zweistufiges Konzept entwickelt werden, das sich in der ersten Stufe an Laien (z. B. Privatkunden) wendet und in der zweiten Stufe an Personen, die bereits über Vorwissen verfügen (z. B. Energiedienstleistungsunternehmen). Um Verständnisproblemen vorzubeugen und keine falsche Erwartung der Leistung aufzubauen, muss konkret und nachvollziehbar auf den entsprechenden Adressaten abgestimmt kommuniziert werden. Eine erfolgreiche Kommunikation durch gezielte Designinterventionen hat massgeblichen Einfluss auf die Akzeptanz und den Erfolg eines Produktes.

Verzeichnisse

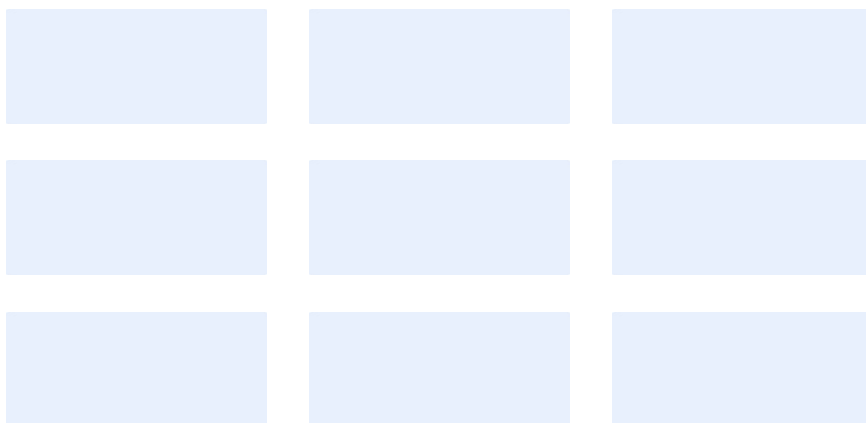
Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stakeholdermapping aus Vorläuferprojekt CH-Stor	3
Abbildung 2: Influence/Intrest Matrix - Ergebnis Interner Workshop zum Thema Stakeholder	4
Abbildung 3: Charakterisierung - Ergebnis Interner Workshop zum Thema Stakeholder	4
Abbildung 4: Poster Nr. 1 SeasOn, für Umfrage am Standort Kaltenbach	6
Abbildung 5: Poster Nr. 2 SeasOn, für Umfrage am Standort Kaltenbach	7
Abbildung 6: Umfragebogen zur Befragung am Richtfest Kaltenbach 2.10.2024	8
Abbildung 7: Poster Nr.3 für, Installation Standort Frauenfeld	10
Abbildung 8: Poster Nr.4, für Installation Standort Frauenfeld	11
Abbildung 9 - Mock Up 1 Beschriftung Demonstrationsanlage Frauenfeld	12
Abbildung 10 - Mock Up 2 Beschriftung Demonstrationsanlage Frauenfeld.....	12

Anhang

Folgend sind Verlinkungen zu Dokumenten & Abbildungen aufgeführt:

- Abbildung 1 + 2 + 3 – Miroboard SorpStor / CH Stor
https://miro.com/app/board/uXjVNOTeymU=?share_link_id=566732642394
- Abbildung 4 + 5 – Sharepoint CCPT
https://hsluzern.sharepoint.com/:f:/r/sites/dfk_cc-pt-2/Freigegebene%20Dokumente/SorpStor/05%20Bilder_Fotos_Grafiken/Kaltenbach/1%20Poster_RichtfestKaltenbach%20Ordner?csf=1&web=1&e=EdnPEw
- Abbildung 6 – Sharepoint CCPT https://hsluzern.sharepoint.com/:f:/r/sites/dfk_cc-pt-2/Freigegebene%20Dokumente/SorpStor/08%20Workpackage/241002%20-%20Umfrage%20Richtfest%20Kaltenbach/Umfragebogen_Richtfest_Kaltenbach%20Ordner?csf=1&web=1&e=NI1s1b
- Abbildung 7 & 8 – Sharepoint CCPT
https://hsluzern.sharepoint.com/:f:/r/sites/dfk_cc-pt-2/Freigegebene%20Dokumente/SorpStor/05%20Bilder_Fotos_Grafiken/Frauenfeld/Poster%20Frauenfeld_Ordner?csf=1&web=1&e=xkPCNa
- Abbildung 9 & 10 – Miroboard SorpStor / CH Stor
https://miro.com/app/board/uXjVNOTeymU=?share_link_id=566732642394



Hochschule Luzern
Design & Kunst
745 Viscosistadt
Nylsuisseplatz 1
6020 Luzern-
Emmenbrücke

T +41 41 248 64 64
design-kunst@hslu.ch
hslu.ch/design-kunst

Medienspiegel Matica/SeasON 2025 (Stand 29.12.2025)

Datum	Medium	Titel/Links
09.01.25	Thurgauer Zeitung	Potenziell revolutionäre Entwicklung: Dafür bekommt «SeasON» den renommierten Energiepreis Watt d'Or – nun will sie auf den Markt. https://www.thurgauerzeitung.ch/ostschweiz/frauenfeld/energietechnologie-potenziell-revolutionaere-entwicklung-dafuer-bekommt-season-den-renommierten-energiepreis-watt-dor-nun-will-sie-auf-den-markt-ld.2718954
09.01.25	Thurgauer Zeitung	Im Winter Solarstrom vom Sommer nutzen – in dieser Schweizer Stadt wird ein revolutionäre Projekt betrieben (kostenpflichtiger Beitrag) https://www.thurgauerzeitung.ch/leben/watt-dor-im-winter-solarstrom-vom-sommer-nutzen-in-dieser-schweizer-stadt-wird-ein-revolutionaeres-projekt-betrieben-ld.2718503
09.01.25	Tagblatt	Schlüssel für die Energiewende. Langzeitspeicher in Natronlaug erhält Watt d'Or (Beitrag kostenpflichtig) https://www.tagblatt.ch/leben/watt-dor-im-winter-solarstrom-vom-sommer-nutzen-in-dieser-schweizer-stadt-wird-ein-revolutionaeres-projekt-betrieben-ld.2718503 Auch erschienen im Aargauer Tagblatt (Beitrag kostenpflichtig) https://www.aargauerzeitung.ch/leben/watt-dor-im-winter-solarstrom-vom-sommer-nutzen-in-dieser-schweizer-stadt-wird-ein-revolutionaeres-projekt-betrieben-ld.2718503
09.01.25	watson	Im Winter Solarstrom vom Sommer nutzen – revolutionäres Projekt in Schweizer Stadt https://www.watson.ch/schweiz/energie/190709448-im-winter-solarstrom-vom-sommer-nutzen

Datum	Medium	Titel/Links
09.01.25	energeiplus – Magazin des Bundesamts für Energie	Wo die Energiezukunft schon begonnen hat: 8 Innovationen mit dem Watt d'Or 2025 ausgezeichnet https://energeiplus.com/2025/01/09/wo-die-energiezukunft-schon-angefangen-hat-8-innovationen-mit-dem-watt-dor-2025-ausgezeichnet/
09.01.25	energie inside	Watt d'Or 2025: smarte Lösungen von Natronlauge bis zu Netztarifen https://www.energieinside.ch/im-fokus/netto-null-2050/watt-d-or-2025-smarte-loesungen-von-natronlauge-bis-zu-netztarifen
09.01.25	energategemessenger	Auszeichnung: Die Preisträger des Watt d'Or 2025 https://www.energategemessenger.ch/news/250167/die-preistraeger-des-watt-d-or-2025
09.01.25	punkt4info	BFE verleiht Energiepreis Watt d'OR 2025 https://punkt4.info/nachrichten/detail/news/bfe-verleiht-energiepreis-watt-dor-2025/
09.01.25	SRF Regionaljournal Ostschweiz	Schweizer Energie-Preis: Watt d'Or ehrt innovative Energielösungen – eine Übersicht https://www.srf.ch/news/schweiz/schweizer-energiepreis-watt-d-or-2025-ehrt-innovative-energieloesungen-eine-uebersicht
09.01.25	SRF Tagesschau	Watt d'Or für «Season» https://www.srf.ch/play/tv/tagesschau/video/watt-dor-fuer-season?urn=urn:srf:video:78ec606b-2609-4633-bed6-1f4e2e750ce2
10.01.25	WYFELDER	Eine Firma aus dem Thurgau gewinnt den Energiepreis Watt d'Or 2025 https://wyfelder.ch/eine-firma-aus-dem-thurgau-gewinnt-den-energiepreis-watt-dor-2025/

Datum	Medium	Titel/Links
10.01.25	baublatt	Watt d'Or 2025: Neuartige Sorptionsspeicher-Wärmepumpe ausgezeichnet https://www.baublatt.ch/baubranche/watt-dor-2025-neuartige-sorptionsspeicher-waermepumpe-ausgezeichnet-36961
10.01.25	Nau.ch	Watt d'Or: Schweizer Energiepreis 2025 vergeben https://www.nau.ch/news/schweiz/watt-dor-schweizer-energiepreis-2025-vergeben-66891728
10.01.25	ORGANISATOR	Bundesamt für Energie verleiht den Schweizer Energiepreis Watt d'Or 2025 https://www.organisator.ch/de/sustainability/2025-01-10/bundesamt-fuer-energie-verleiht-den-schweizer-energiepreis-watt-dor-2025/
11.01.25	ee news Fachmagazin für Erneuerbare Energien	Watt d'Or 2025: Geht an Matica, HSLU https://www.ee-news.ch/de/article/55273
12.02.25	Thurgauer Zeitung	Strom aus dem Sommer für die Heizung im Winter: Die EKT-Energiestiftung stellt in Frauenfeld ihr preisgekröntes Projekt vor https://www.thurgauerzeitung.ch/ostschweiz/kanton-thurgau/thurgau-strom-aus-dem-sommer-fuer-die-heizung-im-winter-die-ekt-energiestiftung-stellt-in-frauenfeld-ihr-preisgekoentes-projekt-vor-ld.2734988
3/25	WIRinfo – Das Magazin für Schweizer KMU	So heizen wir morgen siehe PDF
4/25	trend – Das Thurgauer Naturstrom Magazin 2025	Langzeit-Energiespeicherung als Schlüssel zur Energiewende (Beitrag S. 8) https://www.thurgauer-naturstrom.ch/wp-content/uploads/2025/04/TGN_Trend_Magazin_2025.pdf

Datum	Medium	Titel/Links
30.04.25	HELVETIA energy	Les projects les plus innovants en matière d'énergies en Suisse en 2025 https://www.helvetia-energy.ch/innovations-energies-renouvelables-suisse/
5/25	ET Elektrotechnik	Speichern für die Zukunft siehe PDF
7-8/25	ORGANISATOR Schwerpunkt Sustainability	Energie nachhaltig speichern siehe PDF
31.08.25	HK Gebäude Technik	Wärmespeicher puffert Solarstrom über Wochen https://avenue.argusdatainsights.ch/Article/AvenuePDFClip?artikelHash=40d6511d8a304b78b7818fc3f260b210_654FD2BF938F07E91AA80B9482EEC746&artikelDetailId=459827751
9/25	Magazin Casa Nostra (Mitglieder- magazin casafair)	Neue Speicher für Energie https://casafair.ch/project/neue-speicher-fuer-energie/
12.09.25	LEADER Magazin	Matica installiert zweite «SeasOn»-Demonstrationsanlage https://www.leaderdigital.ch/news/matica-installiert-zweite-season-demonstrationsanlage-14072.html
12.09.25	ORGANISATOR	Nachhaltiges Energiemanagement mit Sorptionswärmespeicher https://www.organisator.ch/de/sustainability/2025-09-12/nachhaltiges-energiemanagement-mit-sorptionswaermespeicher/
12.09.25	punkt4info/ CONNECT	Zweiter SeasON-Sorptionsspeicher nimmt Betrieb auf https://punkt4.info/nachrichten/detail/news/zweiter-season-sorptionsspeicher-nimmt-betrieb-auf/

Datum	Medium	Titel/Links
18.09.25	energate messenger	Sorptionswärmespeicher auf dem Weg zur Markteinführung https://www.energate-messenger.ch/news/256997/sorptionswaermespeicher-auf-dem-weg-zur-markteinfuehrung
19.09.25	shn.ch	Netto-Null-Ziel 2040: Das innovative Projekt hinter der Post Kaltenbach https://avenue.argusdatainsights.ch/Article/AvenuePDFClip?artikelHash=07e4df9fee534047b2f28745db829ea0_97335CBFB9A1F60B4FE38B6C33157B8C&artikelDateid=460445826
19.09.25	Schaffhauser Nachrichten	Das Projekt hinter der Post in Kaltenbach: Die Funktionsweise des Langzeitspeichersystems https://avenue.argusdatainsights.ch/Article/AvenuePDFClip?artikelHash=aeda82124d08462689df0cbdc3d876fc_89919BFD0382173C1B667A4D781F1510&artikelDateid=460445878
22.09.25	Gemeinde Wagenhausen	SEASON: Zweite Demonstrationsanlage zur Langzeitspeicherung von Energie im Kanton Thurgau geht in Betrieb https://www.wagenhausen.ch/verwaltung/aktuelles.html/302/news/2262/newsarchive/1
26.09.25	Bote vom Untersee und Rhein	Die Langzeitspeicherung von Energie ist das Ziel siehe PDF
n.n.	propteckerklärt.ch	Solarstrom wird in Kaltenbach erstmals saisonal gespeichert https://propteckerklärt.ch/zweiter-season-sorptionsspeicher-nimmt-betrieb-auf/
28.10.25	BusinessClass Ost	Die Preisträger des «Greenovation Award» https://www.businessclassost.ch/article/greenovation-summit-2025-award-bericht

Datum	Medium	Titel/Links
06.11.25	SurseerWoche	e-Knutwil stellt Weltneuheiten vor https://storage.e.jimdo.com/file/6e53806f-089d-47ec-94a1-d081e87fe46b/Artikel_SW_November_2025_Energie_speichern.pdf
15.11.25	Thurgauer Zeitung	Kommt ein Puzzleteil für die Energiewende aus Kaltenbach? «Season» kann auf der Post Sommerstrom in Natron speichern https://www.thurgauerzeitung.ch/ostschweiz/frauenfeld/kaltenbach-matica-arbeitet-mit-season-an-energiewende-ld.4043583 Ist auch in den weiteren Regionalzeitungen von CH Media erschienen.
19.12.25	energate messenger	Matica und HSLU gründen Sorptionswärmespeicher-Start-up https://www.energate-messenger.ch/news/258998/matica-und-hslu-gruenden-sorptionswaermespeicher-start-up
19.12.25	Gebäudetechnik News	Greentech-Spin-off gegründet https://www.gebaeudetechnik-news.ch/greentech-spin-off-gegruendet/
19.12.25	swiss export/ Newsticker by swisstrade	Matica AG und HSLU establish SeasON Energy AG https://swiss-export.com/de/newsfeed/147963/
19.12.25	Punkt4/Luzern Business	Matica AG und Hochschule Luzern gründen SeasON Energy AG https://www.luzern-business.ch/de/news/matica-ag-und-hochschule-luzern-gruenden-season-energy-ag-16834 Auch in Englisch publiziert https://www.lucerne-business.com/en/news/matica-ag-and-hslu-establish-season-energy-ag-16834

Datum	Medium	Titel/Links
n.n.	Blog HSLU	SeasON: Ein neuer Durchbruch für die Energiespeicherung? https://hub.hslu.ch/ta-blog/season/