



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Verkehr BAV**  
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050  
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

# P123 ENERGIEOPTIMIERUNG TECHNIKGEBÄUDE

Schlussbericht



Marc Hächler BLS Netz AG  
Genfergasse 11, 3001 Bern  
[marc.haechler@bls.ch](mailto:marc.haechler@bls.ch)  
[www.bls.ch](http://www.bls.ch)

## **Impressum**

Herausgeberin:  
Bundesamt für Verkehr BAV  
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)  
CH-3003 Bern

Programmleiter  
Stany Rochat, BAV

Projektnummer: P123  
Bezugsquelle  
Kostenlos zu beziehen über das Internet  
[www.bav.admin.ch/energie2050](http://www.bav.admin.ch/energie2050)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor bzw. die Autorin oder sind ausschliesslich die Autoren:innen dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den [25.11.2024]



## Executive Summary in Deutsch

Die BLS Netz AG betreibt rund 120 Technikgebäude. Die Gebäudehülle der Technikgebäude werden gemäss den Energievorschriften SIA als «beheizter Raum» mit einer Wärmedämmung von  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$  ausgeführt. Dies hat zur Folge, dass die Räumlichkeiten der Stellwerkanlagen und der Telecom- und Haustechnikanlagen ganzjährig mechanisch gekühlt werden müssen.

Ziel war, mittels gezielter und ganzheitlicher Optimierungsmassnahmen den Energiebedarf zu reduzieren und die Energieeffizienz der Technikgebäude zu verbessern.

Die Anforderung an die Raumtemperatur wurde von fix  $25^\circ\text{C}$  auf mindestens  $10^\circ\text{C}$  definiert. Dies hat zur Folge, dass das Technikgebäude energetisch als «unbeheizter Raum» gilt und somit keine Anforderungen an die Wärmedämmung der Gebäudehülle gestellt werden. Somit wird die Abwärme der Stellwerks- und Telecom- und Haustechnikanlagen in den kalten Monaten über Transmissionsverluste, d. h. über die schlecht gedämmte Gebäudehülle und nicht mehr über die mechanische Kühlung abgeführt. Somit wird das Klimagerät nur noch im Sommer zur Raumkühlung genutzt, was bedeutet, dass sich die Betriebszeiten nur noch auf die Sommermonate reduzieren.

Auf dem Dach wurde eine Photovoltaikanlage inklusive eines neuen Energiespeichers (Salzbatterie) installiert. Die produzierte Energie wird direkt dem Technikgebäude zugeführt. Der Energiespeicher speichert die überschüssig produzierte Energie und sorgt für den Tag- Nachtgleich. Somit ist sichergestellt, dass nur ein Minimum ins Ortsnetz zurückfliesst.

Das neue Konzept wurde im Technikgebäude Menznau, Biglen und an der Schaltstation Holligen mehrheitlich erfolgreich umgesetzt.

Der Betrieb hat aufgezeigt, dass das neue Kühlkonzept mit der schwachisolierter Gebäudehülle sehr gut funktioniert. Die produzierte Energie aus der Photovoltaik-Dachanlage der Technikgebäude wird dank des Zwischenspeichers (Salzbatterie) mit einem Eigenbedarf von  $>70\%$  direkt verbraucht. Die eingesetzte Salzbatterie erfüllte zwar unsere Umweltanforderungen, entspricht jedoch nicht unseren Energieeffizienz-Vorstellungen, da die Salzbatterie aufgrund der hohen Betriebstemperatur einen grossen Verlust aufweist. Deshalb wird diese bei uns nicht mehr weiter verfolgt.

## Executive Summary en français

BLS Netz AG exploite environ 120 bâtiments techniques. L'enveloppe des bâtiments techniques est conçue comme un "espace chauffé" avec une isolation thermique de  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , conformément aux prescriptions énergétiques SIA. Cela a pour conséquence que les locaux des postes d'aiguillage et des installations télécom et techniques doivent être refroidis mécaniquement toute l'année.

L'objectif était de réduire les besoins énergétiques et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments techniques grâce à des mesures d'optimisation ciblées et globales.

L'exigence en matière de température ambiante a été définie de manière à passer d'une température fixe de  $25^\circ\text{C}$  à une température minimale de  $10^\circ\text{C}$ . Cela a pour conséquence que le bâtiment technique est considéré comme un "local non chauffé" du point de vue énergétique et qu'il n'y a donc pas d'exigences en matière d'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment. Ainsi, pendant les mois froids, la chaleur dégagée par les installations du poste d'aiguillage, des télécoms et de la domotique est évacuée par le biais de pertes par transmission, c'est-à-dire par l'enveloppe mal isolée du bâtiment et non plus par le biais du refroidissement mécanique. Ainsi, le climatiseur n'est plus utilisé qu'en été pour refroidir les pièces, ce qui signifie que les périodes de fonctionnement se réduisent uniquement aux mois d'été.

Une installation photovoltaïque, y compris un nouveau dispositif de stockage d'énergie (batterie au sel), a été installée sur le toit. L'énergie produite est directement acheminée vers le bâtiment technique. L'accumulateur d'énergie stocke l'énergie produite en excès et assure l'équilibre jour/nuit. Il est ainsi garanti que seul un minimum est réinjecté dans le réseau local. Le nouveau concept a été mis en œuvre dans les bâtiments techniques de Menznau, Biglen et à la station de commutation de Holligen dans la plupart avec succès.

L'exploitation a démontré que le nouveau concept de refroidissement fonctionne très bien avec l'enveloppe faiblement isolée du bâtiment. L'énergie produite par l'installation photovoltaïque en toiture des bâtiments techniques est directement consommée grâce au stockage intermédiaire (batterie au sel) avec un taux d'autoconsommation de  $>70\%$ . La batterie au sel utilisée répondait certes à nos exigences environnementales, mais ne correspondait pas à nos attentes en matière d'efficacité énergétique, car la batterie au sel présente une perte importante en raison de sa température de fonctionnement élevée. C'est pourquoi son utilisation n'est plus poursuivie chez nous.

## Executive Summary in English

BLS Netz AG operates around 120 technical buildings. The building envelope of the technical buildings is designed as a "heated room" with thermal insulation of  $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$  in accordance with the SIA energy regulations. As a result, the premises of the signal box systems and the telecommunication and building services systems have to be mechanically cooled all year round.

The aim was to reduce energy requirements and improve the energy efficiency of the technical buildings by means of targeted and holistic optimisation measures.

The requirement for the room temperature was defined at a minimum of at least  $10^\circ\text{C}$ , previously a fixed temperature of  $25^\circ\text{C}$ . As a result, the technical building is considered an "unheated room" in energy terms and therefore no requirements are placed on the thermal insulation of the building envelope. As a result, the waste heat from the signal box, telecommunication and building services systems is dissipated in the cold months via transmission losses, i.e. via the poorly insulated building envelope and no longer via mechanical cooling. This means that the air conditioning unit is only used for room cooling in summer, which also means that the operating times are reduced to the summer months only.

A photovoltaic system, including a new energy storage unit (salt battery), was installed on the roof. The energy produced is fed directly to the technical building. The energy storage system stores the surplus energy produced and ensures day/night equalisation. This ensures that only a minimum amount flows back into the local network. The new concept has been successfully implemented for the most part in the Menznau and Biglen technology buildings and at the Holligen switching station.

The company has shown that the new cooling concept with the minimally insulated building envelope works very well. The energy produced from the photovoltaic roof system of the technical buildings is consumed directly thanks to the intermediate storage (salt battery), with a self-consumption level of  $>70\%$ . Although the salt battery used met our environmental requirements, it did not fulfil our energy efficiency expectations, as the salt battery loses a great deal of energy due to the high operating temperature. We are therefore no longer pursuing this option.

## 1. Ausgangslage

Die BLS-Netz AG betreibt zur Sicherstellung des Bahnbetriebes rund 120 Technikgebäude. Die anfallende Abwärme der eingebauten Server werden heute mittels Klimageräte heruntergekühlt. Die geforderte Raumtemperatur liegt bei konstant 25°C. Durch die Temperaturanforderung von 25°C fällt das Technikgebäude gemäss den heutigen Energievorschriften der SIA unter beheizter Raum mit einem minimalen u-Wert von 0,25W/m<sup>2</sup>K für die Gebäudehülle. Aufgrund der sehr guten Wärmedämmung der Gebäudehülle muss die anfallende interne Abwärme permanent heruntergekühlt werden, damit die geforderten 25°C eingehalten werden können und es im Gebäude keinen Hitzestau gibt. Die aktuelle Bauweise sowie die Anforderung an die Raumtemperatur hat zur Folge, dass das konventionelle Technikgebäude (Abbildung 1) einen hohen Energiebedarf ausweist.

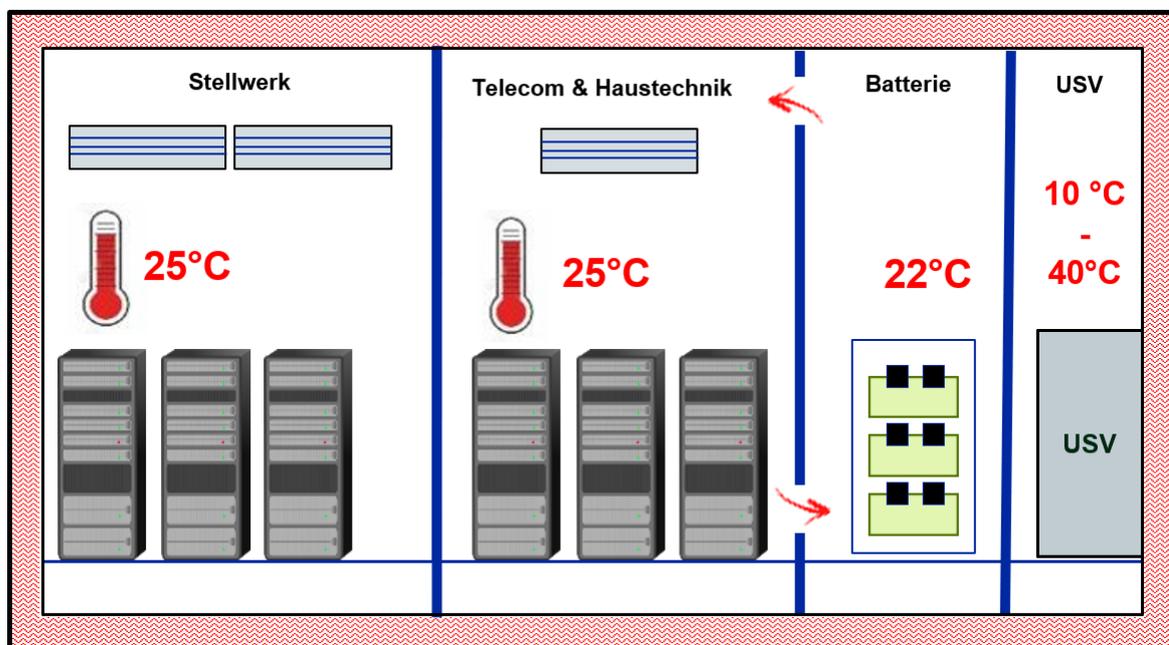


Abbildung 1 Anforderungen Raumtemperatur und Wärmedämmung konventionelles Technikgebäude

Grafische Darstellung des konventionellen Technikgebäudes der BLS mit einer gut isolierten Gebäudehülle (rot) und zwei Haupträumen – einem für die Stellwerktechnologie und einem für die Telecom- & Haustechnikanlagen. Die fixe Raumtemperatur von 25°C wird im Stellwerkraum mit zwei Klimageräten (Redundanz) und im Haustechnik- und Telecom-Raum mit einem Klimagerät sichergestellt. Der separate Raum für die Bleibatterien wird indirekt mit den vorhandenen Klimageräten gekühlt. Die Räumlichkeiten der USV werden nicht gekühlt.

Ein weiterer Kostentreiber für einen hohen Energiebedarf sind die spezifischen Anforderungen an die Räumlichkeiten und die Zutrittsregelung der Nutzer für ihre technischen Anlagen und deren Komponenten. Dies hat eine Auswirkung auf den Flächenbedarf und das Bauvolumen. Die Technikgebäude sind überdimensioniert und benötigen dadurch mehr Energie. In den bestehenden Technikgebäuden sind für die einzelnen Nutzungen, Stellwerktechnik, Telecom und Haustechnik, Batterie und USV-Anlage separate und hermetisch abgetrennte Räume

bereitgestellt (Abbildung 2). Um den Energiebedarf zu reduzieren, wurden verschiedene Ideen und Ansätze in einer Studie geprüft.

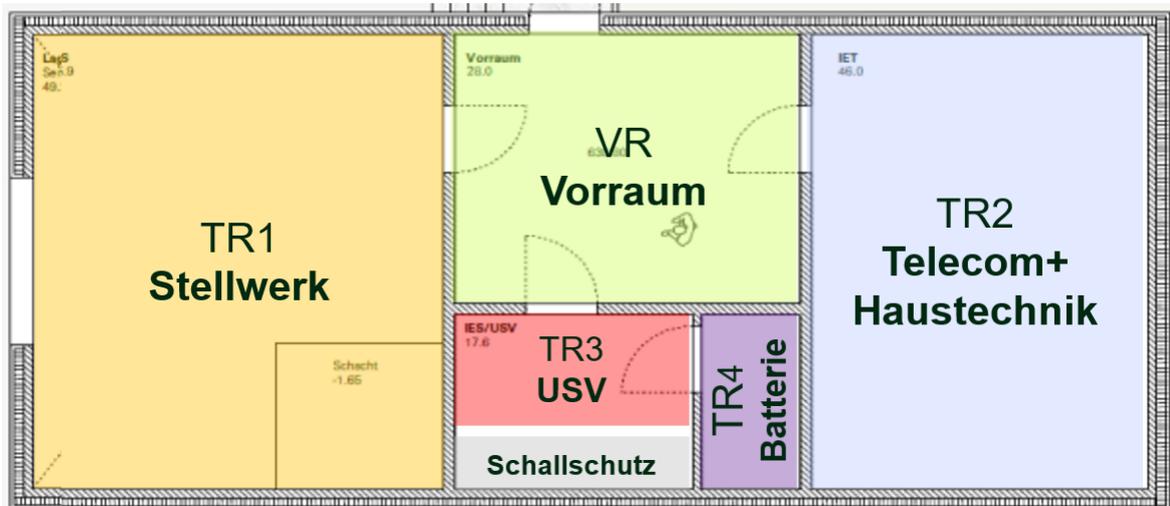


Abbildung 2 Raumanforderung konventionelles Technikgebäude

Grafische Darstellung des konventionellen Technikgebäudes mit der räumlichen Aufteilung. Die Räume sind untereinander hermetisch abgetrennt. Infolge der Nutzeranforderungen an ihre Räumlichkeiten ist das Technikgebäude deutlich überdimensioniert.

## 1. Ziel der Arbeit

Mittels gezielter und ganzheitlicher Optimierungsmassnahmen soll die Energieeffizienz der konventionellen Technikgebäude verbessert werden. Dies soll mit Hinterfragen der bestehenden Anforderungen und dem Einsatz von neuen Technologien erfolgen (Abbildung 3).

### Anpassung des Raumklimas

Das Raumklima soll auf eine minimale Raumtemperatur von 10°C und eine maximale Raumtemperatur von 26°C ausgelegt werden. Mit den neuen Temperaturanforderungen gilt das Technikgebäude gemäss SIA als unbeheizt und kann somit mit einer minimalen Dämmung der Gebäudehülle gebaut werden.

### Optimierung der Wärmedämmung

Die Wärmedämmung ist so auszulegen, dass im Winter die interne Abwärme der installierten Geräte die geforderte minimale Raumtemperatur von 10°C halten kann und keine Heizleistung aufgewendet werden muss. Mit der optimierten Wärmedämmung soll die Abwärme der technischen Geräte anstelle des Klimagerätes über die Gebäudehülle abgeführt werden. Ziel ist, dass das Raumklima in den kalten Monaten ohne mechanische Kühlung gehalten werden kann. Der sommerliche Hitzeschutz soll einerseits mit einer hinterlüfteten Fassade erfolgen

(die hinterlüftete Fassadenverkleidung hat eine Beschattungsfunktion und verhindert damit die direkte Sonneneinstrahlung am Technikgebäude), und andererseits mit der technischen Belüftung des kalten Hohlbodens (Aktivierung der Masse des Betonfundamentes). Kann die maximale Raumtemperatur von 26°C nicht mehr gehalten werden, wird aktiv mit dem Klimagerät das Raumklima sichergestellt.

### Optimierung der Raumregulierung

Mit den Optimierungsmassnahmen muss auch die Regulierung der Raumtemperatur angepasst werden. Ziel ist es, in den kalten Jahreszeiten die Raumkühlung über die Transmissionsverluste der Gebäudehülle sicherzustellen. Das Klimagerät wird erst aktiv, wenn die Raumtemperatur den oberen Temperaturgrenzwert (26°C) erreicht oder wenn die Raumtemperatur unter 10°C fällt.

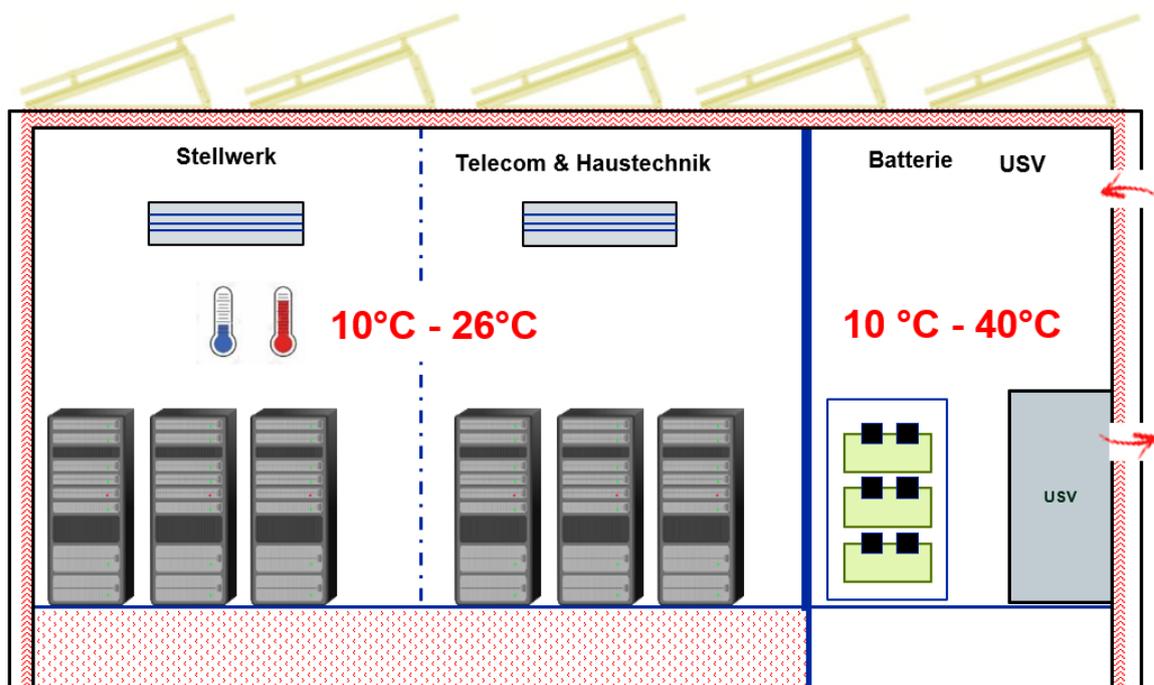


Abbildung 3  
Angepasstes Raumklima und Wärmedämmung neues Technikgebäude 2020

Grafische Darstellung des neuen Technikgebäudes 2020: Das Stellwerk wird zusammen mit der Telecom und Haustechnik in einem Raum untergebracht. Die beiden Bereiche sind durch einen Maschendrahtzaun voneinander getrennt. Die Kühlung erfolgt über zwei Klimageräte. Diese sorgen dafür, dass die Raumtemperatur im neu definierten Temperaturbereich von min. 10°C und max. 26°C bleibt. Die neue temperaturbeständige Batterie muss nicht mehr in einem separat gekühlten Raum untergebracht werden, sondern kann zusammen mit der USV-Anlage im selben Raum aufgestellt werden. Auf dem Dach wird eine PV-Anlage installiert. Die Gebäudehülle wird mit einem minimalen Dämmwert isoliert.

### Regelfall Winter

Durch die Transmissionsverluste wird im Winter die interne Wärmelast über die Gebäudehülle abgeführt (Abbildung 4). Die Wärmedämmung wird so ausgelegt, dass im Winter

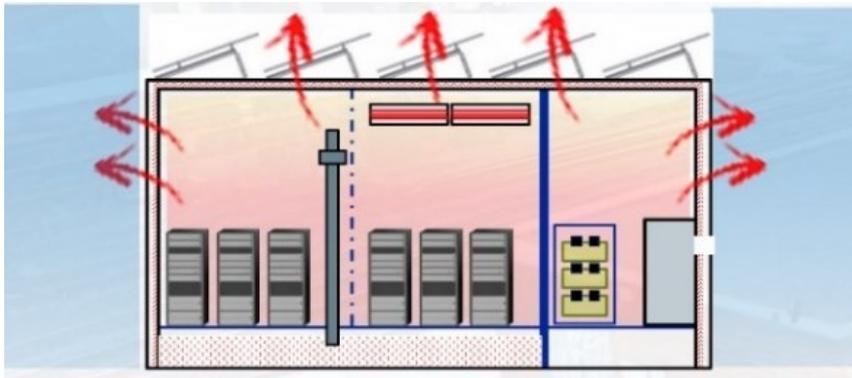


Abbildung 4 Raumkühlung Winter

Der warme Innenraum des Technikgebäudes (rot-orange) kühlt sich bei kalten Außentemperaturen (blau) über die leicht gedämmte Gebäudehülle ab. Sinkt die Raumtemperatur unter 10°C, wird der Innenraum über die Klimaanlage erwärmt.

die Raumtemperatur ohne zusätzliche Heizenergie nicht unter 10°C fällt. Das heisst, die Wände und das Dach werden mit einem U-Wert 0,5 W/m<sup>2</sup>K gedämmt. Dies entspricht einer Wärmedämmung von 4-6 cm. Der Betonboden wird nicht isoliert, je-

doch durch den Hohlboden abgeschirmt. Der Hohlboden dient im Winter als zusätzliche Wärmedämmung. Mittels der Klimageräte (Heizfunktion) wird sichergestellt, dass die Raumtemperatur nicht unter 10°C fällt.

### Regelfall Frühling/Herbst

Die Transmissionsverluste nehmen mit ansteigender Aussentemperatur ab und die Raumtemperatur steigt an (Abbildung 5). Bei Ansteigen

der Raumtemperatur wird zuerst die kühle Luft im Hohlboden mittels einer Umluftanlage in den Technikraum geblasen. Wärmt sich der Raum weiter auf, wird die Kühlung über das Klimagerät (Sommerfall) sichergestellt.

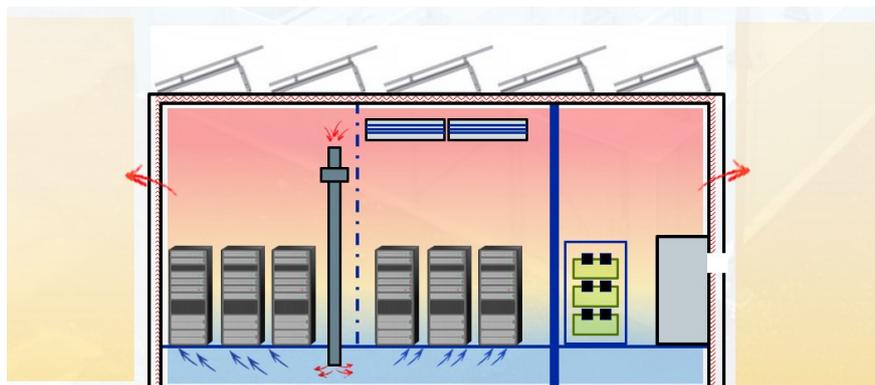


Abbildung 5 Raumkühlung Frühling/ Herbst

Bei zunehmender wärmeren Aussentemperatur (orange) verringern sich die Transmissionsverluste über die Gebäudehülle. Mittels einer Umluftanlage wird die kühle Luft vom Hohlboden (blau) zur Kühlung des Innenraums genutzt.

### Regelfall Sommer

Die maximale Raumtemperatur von 26°C wird mit der Hohlbodenaktivierung und der Klimageräte sichergestellt (Abbildung 6). Beim Ansteigen der Raumtemperatur wird die kühle Luft im Hohlboden mittels kontrollierter Belüftung in den Raum geblasen. Steigt die Raumtemperatur

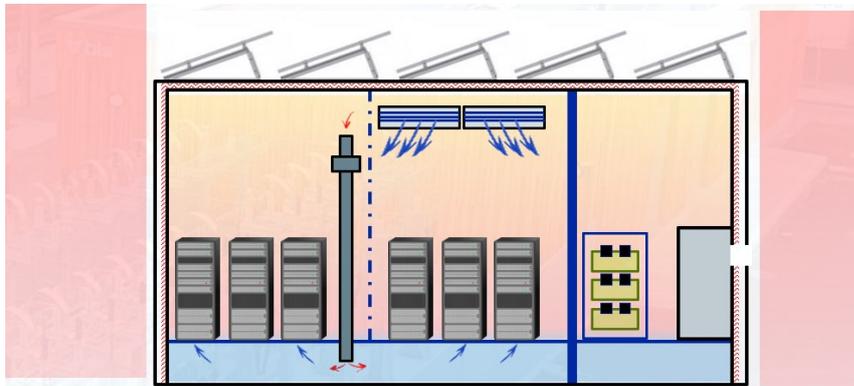


Abbildung 6 Raumkühlung Sommer

Bei warmer Aussentemperatur wird die geforderte Raumtemperatur über die Klimageräte sichergestellt. Die kühle Luft im Hohlboden (blau) reicht nicht mehr, um die Raumtemperatur zu halten.

weiter an, wird das Klimagerät zur Kühlung aktiviert. Der Energiebedarf für das Klimagerät wird über die Photovoltaik-Anlage sichergestellt. Überschüssige PV-Energie wird der Bahn- und Haustechnik zur Verfügung gestellt oder in den Energiespeicher (Salzbatterie) gespeichert.

### Anwendung von erneuerbarer Energie

Das Klimagerät wird hauptsächlich in den Sommermonaten aktiv sein. Mit einer Photovoltaikanlage auf dem Dach soll der Energiebedarf der sommerliche Kühlenergie im Technikgebäude bereitgestellt werden. Die überschüssige Energie wird der Bahn- und Haustechnik zur Verfügung gestellt. Wie die Fassadenverkleidung hat auch die PV-Anlage eine zusätzliche Beschattungsfunktion auf dem Dach des Technikgebäudes.

### Zentraler Energiespeicher

Um die Autonomiezeiten der technischen Anlagen sicherzustellen, wurden diverse dezentrale USV-Anlagen und Batterien installiert. Diese haben Anforderungen an das Raumklima und an die Räumlichkeiten. Mit einem zentralen Energiespeicher sollen die einzelnen Batterien eliminiert werden. Zudem soll der Energiespeicher die überschüssige Energie aus der Photovoltaikanlage speichern.

### Optimierung des Raumlays

Das Raumlays ist so zu optimieren, dass das Bauvolumen und die technischen Anlagen reduziert werden können (Abbildung 7). Das bedeutet, dass die Bereiche Stellwerktechnik und Telecom und Haustechnik nur noch mit einer Maschendrahtwand abgetrennt werden. Somit sind nur noch zwei statt drei Klimageräte zum Kühlen der Räume notwendig.

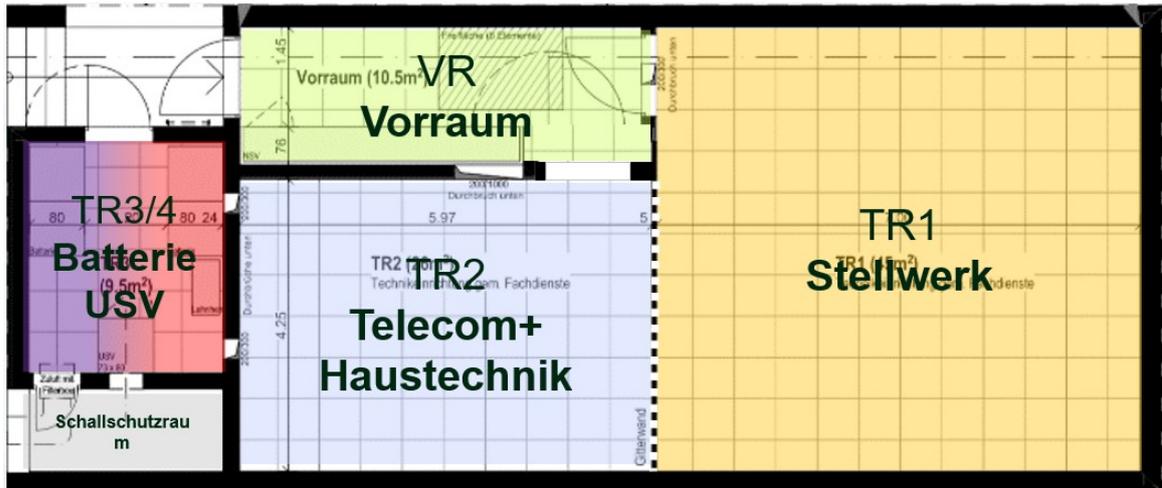


Abbildung 7 Raumlays des neuen Technikgebäudes TG 2020

Mit dem neuen Raumlays des TG 2020 kann das Raumvolumen und der Flächenbedarf, gegenüber dem konventionellen TG deutlich reduziert werden. Mit der neuen Anordnung der Bereiche Telecom & Haustechnik und Stellwerk kann der Vorraum deutlich kleiner ausgeführt werden. Mit dem Einsatz einer hitzeresistenten Batterie ist es möglich, diese mit der USV-Anlage zusammen im selben Raum aufzustellen.

## 2. Analyse und erwarteter Nutzen

Zur Bestimmung der optimalen Wärmedämmung der Gebäudehülle wurden bauphysikalische Simulationen durchgeführt. Die Simulationen gaben Auskunft zu Heiz- und Kühlbedarf in Abhängigkeit der Dämmung und der Raumtemperaturanforderung. Es wurden fünf Szenarien simuliert (Abbildung 8). Als Grundlage diente das Technikgebäude Huttwil, welches mit einer gut gedämmten Gebäudehülle  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einer fixen Raumtemperatur von  $25^\circ\text{C}$  eine jährliche Kühlenergie von rund  $18'000 \text{ kWh/a}$  benötigt.

Die Simulation hat ergeben, dass mit einer minimalen Wärmedämmung der Gebäudehülle von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  und mit dem neuen Raumklima von  $10^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$  die Kühlenergie bis zu 60 % reduziert werden kann.

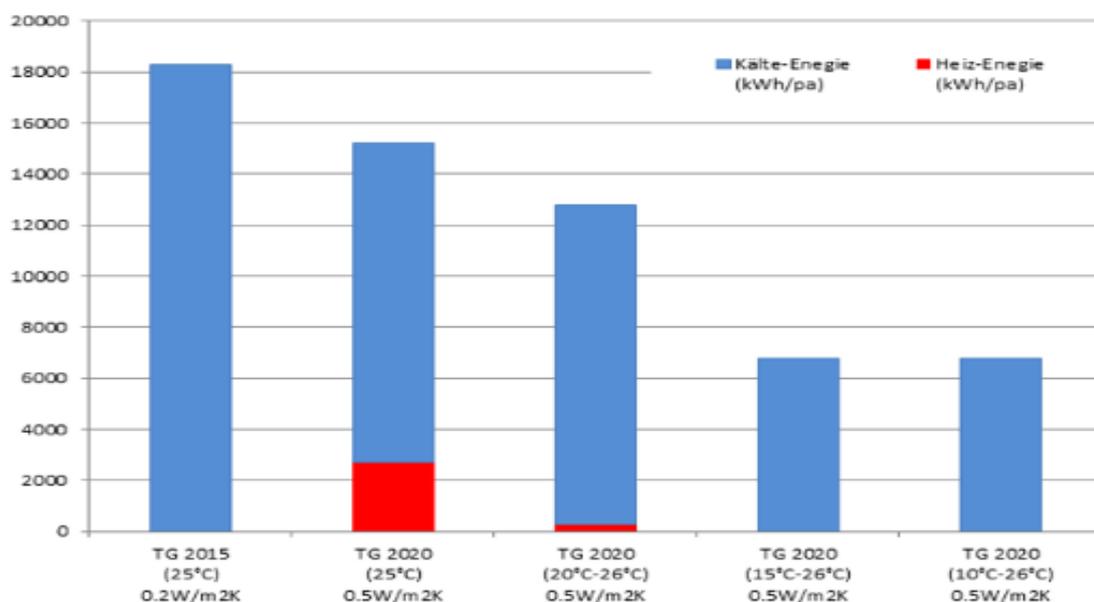


Abbildung 8  
Kühl-/Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Wärmedämmung und Raumtemperaturanforderung

Anhand von fünf bauphysikalischen Simulationen, wird aufgezeigt welche Baukonstruktion der Gebäudehülle (Dämmwert  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) in Abhängigkeit der Raumtemperaturanforderung (fix  $25^\circ\text{C}$  oder Temperaturband  $20^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$  /  $15^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$  /  $10^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$ ), den kleinsten jährlichen Energieaufwand (Rot Heizenergie; blau Kälteenergie) benötigt.

Mit dem neuen Raumlayout wird eine Reduktion des Bauvolumens respektive Flächenbedarf von rund 30 % erzielt.

Mit dem zentralen Energiespeicher kann die überschüssige Tagesenergie aus der Photovoltaikanlage in einem eigenen Energiespeicher gespeichert werden und in der Nacht dem Technikgebäude wieder zur Verfügung gestellt werden. Das heisst, der Eigenverbrauchsanteil der PV-Energie wird maximiert. Der Energiespeicher ist zudem temperaturresistent und benötigt anders als bei den Bleibatterien keinen gekühlten Raum.

### 3. Ergebnisse

Das neue Gesamtkonzept wurde bei der Schaltstation Holligen, dem Technikgebäude Menznau und dem Technikgebäude Biglen angewandt. Alle Gebäude wurden gemäss dem Konzept mit der minimal isolierten Gebäudehülle, der neuen Raumregulierung, einer Photovoltaikanlagen und einer Salzbatterie als zentraler Energiespeicher ausgerüstet.



Abbildung 9  
Schaltstation Holligen



Abbildung 10  
Technikgebäude Menznau



Abbildung 11  
Technikgebäude Biglen

#### Raumregulierung

Mit der neuen Anforderung an das Raumklima im Bereich Technikraum konnte die Regulierung des Klimagerätes so angepasst werden, dass es bei einer Raumtemperatur von 26°C kühlt und ab einer minimalen Raumtemperatur von 10°C heizt. In der Aufzeichnung der Raumtemperaturmessung (Abbildung 12) ist ersichtlich, dass durch die Wintermonate der Raum weder

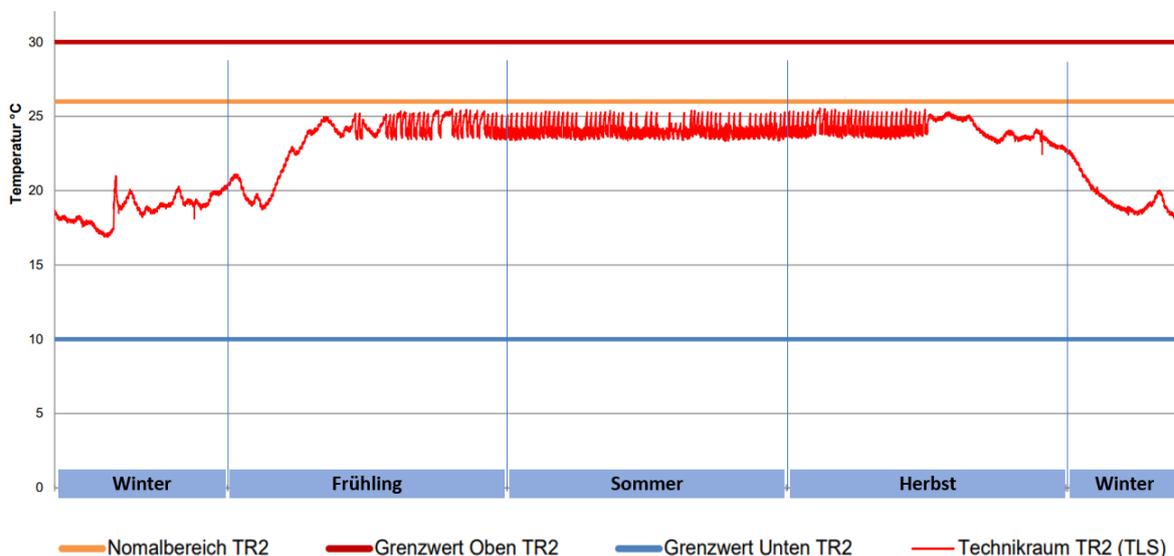


Abbildung 12 Raumtemperaturverlauf SS-Holligen 2020

Im Diagramm wird (roter Graph) der Jahresverlauf der Raumtemperatur aufgezeigt. Die Raumtemperatur wird anhand der neuen Regulierung bereitgestellt. Der zackenförmige Verlauf ab Mitte Frühling bis Mitte Herbst weist darauf hin, dass das Klimagerät im Kühlmodus ist und sicherstellt, dass die Raumtemperatur nicht über 26°C steigt. Der ruhige Temperaturverlauf ab Mitte Herbst bis Anfang Frühling zeigt, dass keine mechanische Kühlung oder Heizung über das Klimagerät notwendig ist.

gekühlt noch geheizt werden muss. Diese ist an dem dargestellten Temperaturverlauf erkennbar. Der kurze zackenförmige (Sägezahn) Verlauf der Raumtemperatur im Technikraum TR2

stellt dar, dass ab Mitte Frühling bis Mitte Herbst mechanisch gekühlt wird. Die Raumtemperatur erreicht im Winter (SS-Holligen/Referenzjahr 2020) einen Tiefstwert von ca. 17°C. Die Temperaturmessung zeigt, dass der Raum fünf Monate lang, von Anfang Mai bis Ende September, aktiv gekühlt wurde. Dies ist in der (Abbildung 12) anhand der roten Temperaturkennlinie gut ersichtlich. Die Sägezahnlinie zeigt auf, dass das Klimagerät im Kühlmodus ist.

Die Transmissionsverluste (Wärmeabgabe über die Gebäudehülle) ist abhängig von der Aussentemperatur. Im Diagramm (Abbildung 13) ist die Umschaltung vom Frühling- in den Sommerbetrieb gut ersichtlich. Mit dem Anstieg der durchschnittlichen Aussentemperatur wird die aktive Kühlung durch das Klimagerät eingeschaltet. Dies erfolgt bei einer durchschnittlichen Aussentemperatur von ca. 18°C -20°C.

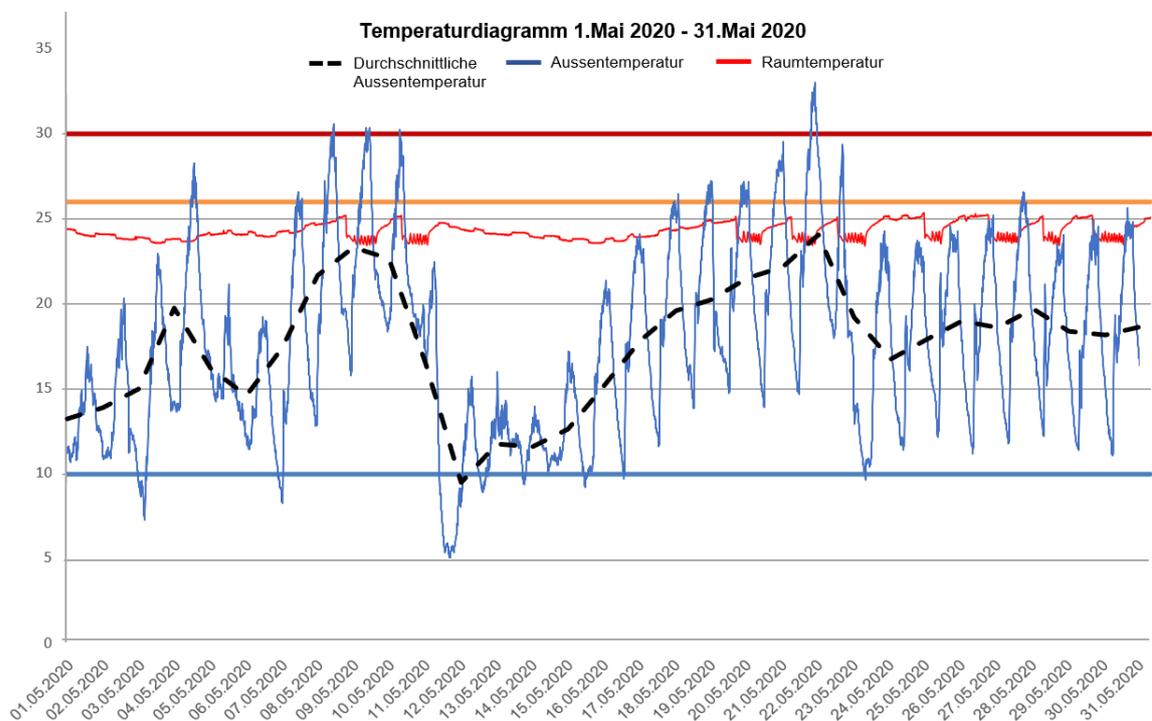


Abbildung 13 Umschaltung Frühling – Sommer Betrieb SS-Holligen

In der Abbildung wird die Umschaltung vom Winter/Frühlingbetrieb in den Sommerbetrieb dargestellt. Die blaue Kurve zeigt den Temperaturverlauf zwischen Tag und Nacht auf. Mit stetig steigender mittlerer Aussentemperatur (schwarze Kurve) kann die geforderte max. Raumtemperatur von 26°C nicht mehr gehalten werden. Die mechanische Kühlung wird aktiv. Dies ist am sägezahnförmigen Verlauf der Raumtemperatur (rote Kurve) erkennbar. Die Umschaltung in den Sommerbetrieb erfolgte 2022 ab Mitte Mai.

Die Umschaltung vom Sommer- in den Herbstbetrieb ist im Diagramm (Abbildung 14) abgebildet. Der Wechsel im Herbst von der mechanischen Klimatisierung zur Kühlung über die Transmissionsverluste erfolgt ab einer tieferen durchschnittlichen Aussentemperatur von 18°C. Nach dem Temperaturabfall unter 18°C blieb das Klimagerät drei Tage noch im aktiven Kühlmodus.

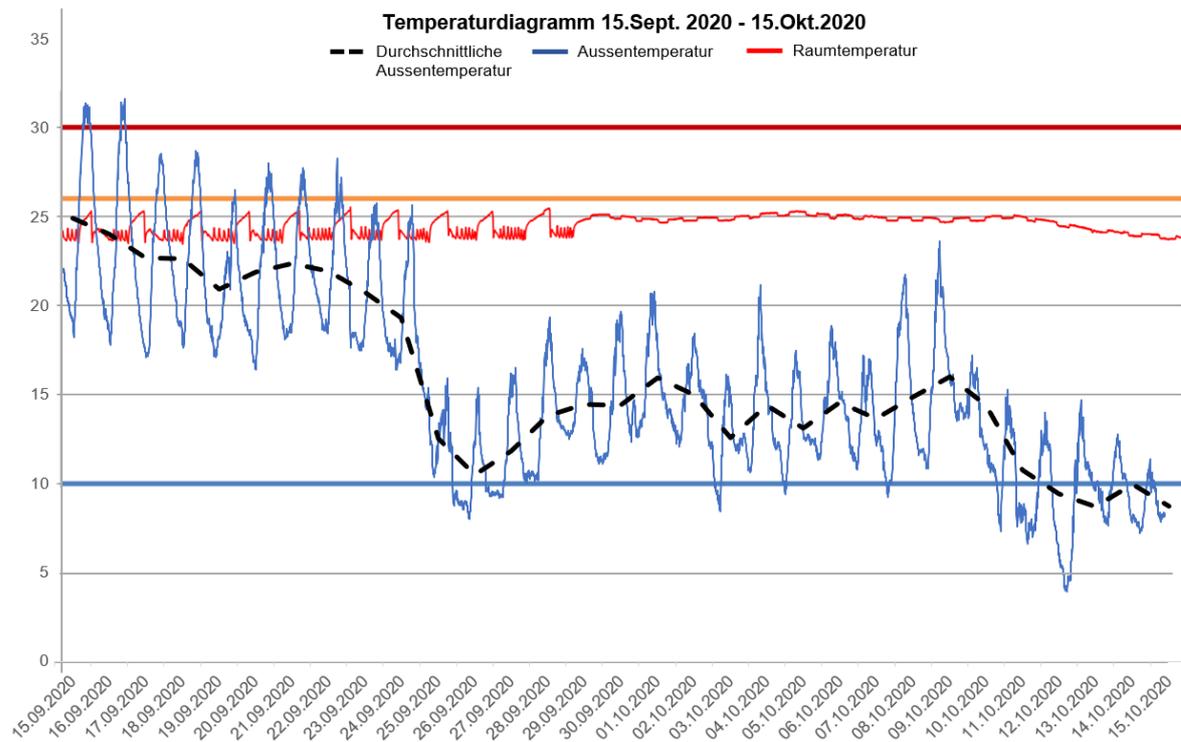


Abbildung 14 Umschaltung Sommer – Herbst Betrieb SS-Holligen

In der Abbildung wird die Umschaltung vom Sommer- in den Herbst-Winterbetrieb dargestellt. Die blaue Kurve zeigt den Temperaturverlauf zwischen Tag und Nacht auf. Mit stetig kühlerer mittlerer Aussentemperatur (schwarze Kurve) kühlt sich die Raumtemperatur über die leicht isolierte Gebäudehülle ab, was dazu führt, dass die Raumtemperatur nicht mehr mechanisch gekühlt werden muss. Dies ist daran zu erkennen, dass der sägezahnförmige Verlauf der roten Kurve in einen flachen Verlauf übergeht. Die Umschaltung vom Sommer- in den Herbst-/Winterbetrieb erfolgte 2022 ab Ende September

In der (Abbildung 14) ist zu beobachten, wie die durchschnittliche Aussentemperatur innerhalb eines Tages um 5 bis 10 Kelvin fällt und die aktive Klimatisierung erst nach drei Tagen ausschaltet. Die Verzögerung ist auf die Speichermasse der Massivbauweise der Schaltstation Holligen zurückzuführen.

## Erneuerbare Energie

### Die Schaltstation Holligen

wurde mit einer 22.2kWp Photovoltaikanlage ausgerüstet. Diese erzeugte im Referenzjahr 2020 19'491kWh/a (Abbildung 15). Der Eigenbedarfsanteil beträgt rund 72 %, d. h. rund 5'505kWh/a wurde ins Ortsnetz zurückgespeist. 35 % der PV-Energie wurden direkt durch die Verbraucher genutzt und 37 % gingen in den Energiespeicher (Salzbatterie).

### Beim Technikgebäude Menznau

wurde eine 14,64kWp PV-Anlage mit einer durchschnittlich zu erwarteten Jahresproduktion von 13'900 kWh/a installiert. Im Referenzjahr 2020 produzierte die Anlage 11'904kWh/a (Abbildung 16). Der Eigenbedarfsanteil der produzierten Energie lag bei nahezu 100 %. Es wurden nur 33kWh/a an das örtliche Elektrizitätswerk zurückgespeist. Von den 11'904 kWh/a gingen 60 % direkt zu den Verbrauchern und 40 % in den Energiespeicher.

**Die PV-Anlage in Biglen** ist mit 7,68 kWp eine kleine Anlage und hat im Jahr 2020 7'132kWh/a elektrische Energie produziert. Davon wurden knapp 100 % direkt dem Technikgebäude zugeschrieben. Davon wurden 63 % direkt von den Endverbrauchern und 37 % vom Energiespeicher genutzt.

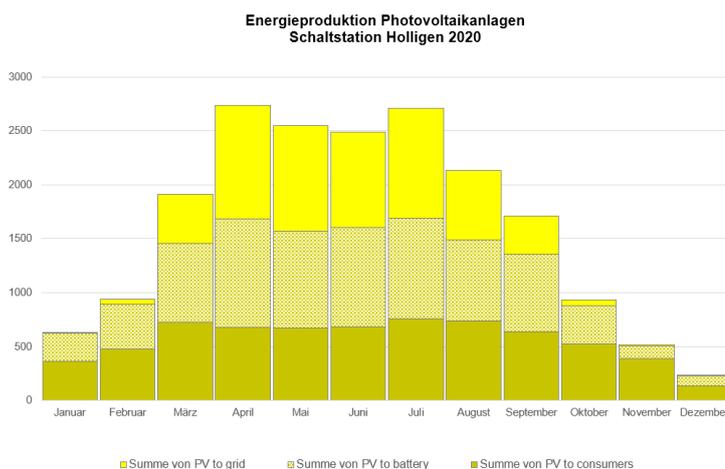
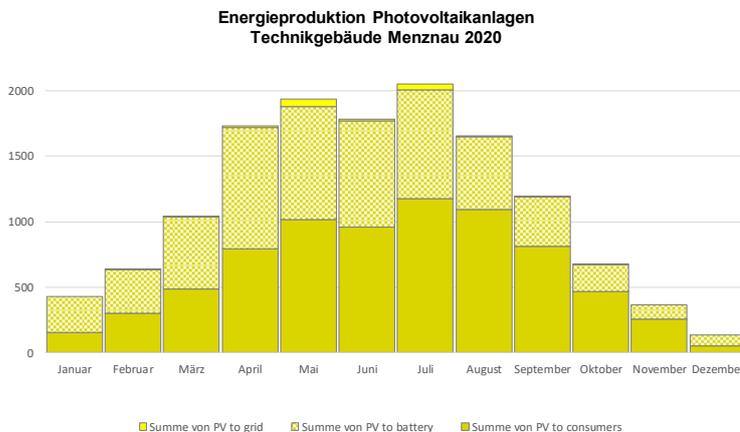


Abbildung 15 Energieproduktion PV-Anlage SS Holligen 2020

Im Balkendiagramm wird die monatliche Energieproduktion mit der anteiligen Verteilung dargestellt. Dunkelgelb ist der direkte Eigenbedarf der Schaltstation, Gelb-Schraffiert ist der Energiebedarf, welcher in der Batterie gespeichert wird, und die hellgelbe Energie wird ins Ortsnetz zurückgespeisen. Der Eigenbedarfsanteil der Anlage beträgt rund 72%.

Abbildung 16 Energieproduktion PV-Anlage TG Menznau 2020



Im Balkendiagramm wird die monatliche Energieproduktion mit der anteiligen Verteilung dargestellt. Dunkelgelb ist der direkte Eigenbedarf der Schaltstation, Gelb-Schraffiert ist der Energiebedarf, welcher in der Batterie gespeichert wird, und die hellgelbe Energie wird ins Ortsnetz zurückgespeisen. In Menznau wird ein nahezu 100% Eigenverbrauch der produzierten PV-Energie ausgewiesen.

## Zentraler Energiespeicher

Als Energiespeicher wurde die umweltverträgliche und temperaturresistente Salzbatteie eingesetzt (Abbildung 18). Diese wurde zusammen mit der USV-Anlage im selben Raum aufgestellt. Die elektrische Anbindung erfolgte über das BESS-System (Battery-Energie-Storage-System) (Abbildung 17). Mit diesem System kann der Energiespeicher die überschüssige Tagesenergie aus der Photovoltaikanlage speichern und in der Nacht am Technikgebäude zurückspeisen. Zudem stellt er die geforderte Anlagenautonomie im



Abbildung 18 Salzbatteie Schaltstation Menznau

Der Energiespeicher (Salzbatteie) wurde zusammen mit der USV-Anlage aufgestellt. Das schwarze Rack mit den grünen Einschubmodulen ist die Salzbatteie. Am Ende des Raumes steht die USV-Anlagen.

Falle eines Stromausfalls sicher. In den Technikgebäuden Menznau und Biglen wurden sechs Batteriemodule mit einer Speicherkapazität von je 9,4 kWh pro Modul installiert. Davon sind zwei für die Anlagenautonomie reserviert und vier dienen als Tagesspeicher für die Photovoltaikanlage.

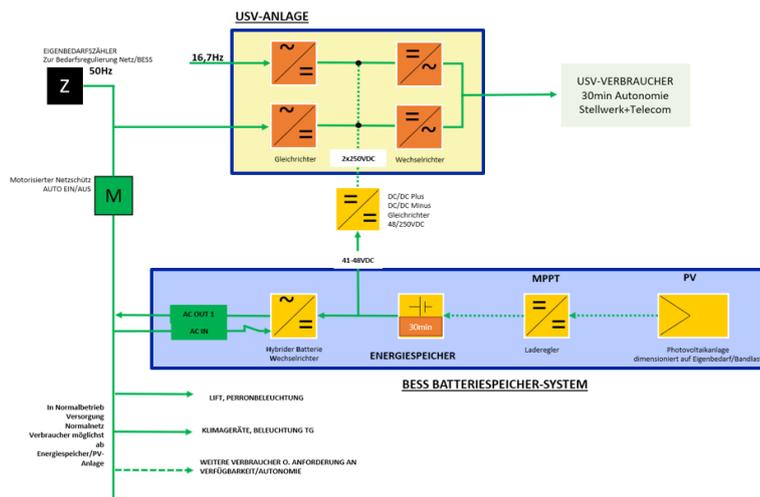


Abbildung 17 Elektroschema Einbindung Energiespeicher

Das BESS (Batteriespeicher-System) im blauen Rechteck besteht aus der Photovoltaikanlage, dem Laderegler der Salzbatteie (Energiespeicher) und dem AC/DC Wechselrichter. Der Energiespeicher, kann über die PV-Anlage aber auch über das 50Hz-Netz geladen werden. Die Dual-USV-Anlage (gelbes Rechteck) wird vom 50Hz Ortsnetz, vom der 16.7Hz Traktionsenergie und vom Energiespeicher gespeisen. Die USV-Anlage stellt sicher, dass die Stellwerkanlagen bei Netzausfällen mit Spannung versorgt ist.

## Raumlayout und Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde nach den bauphysikalischen Berechnungen auf ein Minimum von  $0,5\text{W/m}^2\text{K}$  gedämmt und mit einer hinterlüfteten Holzschalung verkleidet. Die Fassadenelemente wurden fertig auf die Baustelle transportiert und auf die Bodenplatte aus Ortbeton montiert. Das Flachdach ist als Kompaktdach mit Polymerbitumenbahnen vollflächig abgedichtet und mit Rundkies als Schutzschicht belegt. Der neue Grundriss des Technikgebäudes ist so gestaltet, dass der Stellwerkraum (TR1) und der Telecom- und Haustechnikraum (TR2) nur noch mit einem Maschendrahtzaun abgetrennt sind. Der separate Raum für die Batterien wurde aufgehoben. Der neue Energiespeicher (Salzbatterie) und die USV-Anlage wurden im Raum TR3 untergebracht.

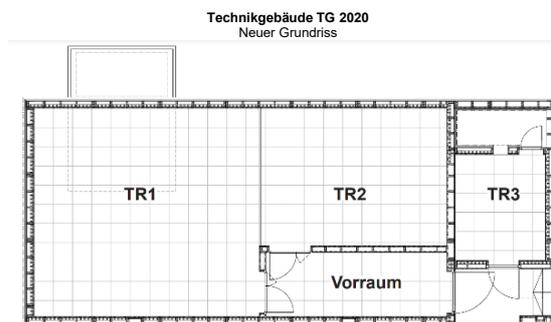


Abbildung 19 Grundriss des neuen Technikgebäudes

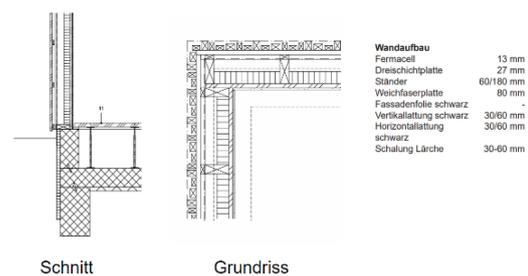


Abbildung 20 Grundriss und Schnitt des Fassadenaufbaus

## 4. Diskussion

### Kühlkonzept

Mit der neuen Anforderung der Raumtemperatur von mindestens 10°C und maximal 26°C gilt das Technikgebäude als «nicht beheizt». Dies schaffte die Möglichkeit, die Dämmung der Gebäudehülle auf 0,5W/m<sup>2</sup>K zu reduzieren und somit die Gebäudehülle als zusätzliche Kühlung zu nutzen. In der (Abbildung 21) ist gut ersichtlich, dass die aktive Kühlung mit dem Klimagerät nur noch in den warmen Jahreszeiten

notwendig ist. In den kalten Jahreszeiten wird die mechanische Kühlung durch den Transmissionsverlust über die Gebäudehülle sichergestellt. Im Gegensatz zum konventionellen Technikgebäude schaltet das Klimagerät während der kalten Jahreszeiten aus.

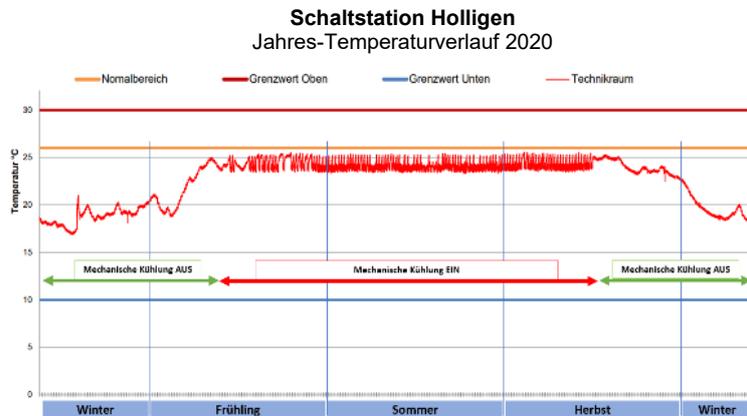


Abbildung 21 Jahresverlauf Raumtemperatur SS-Holligen 2020

Die Raumtemperatur im Jahresverlauf mit der neuen Regulierung der Raumtemperatur. Die Anforderung der Raumtemperatur liegt bei min. 10°C und max. 26°C. Das definierte Temperaturband ermöglicht ab ca. Mitte Herbst bis Mitte Frühling die Abschaltung der mechanischen Kühlung. In den warmen Monaten werden die Technikräume mechanisch gekühlt.

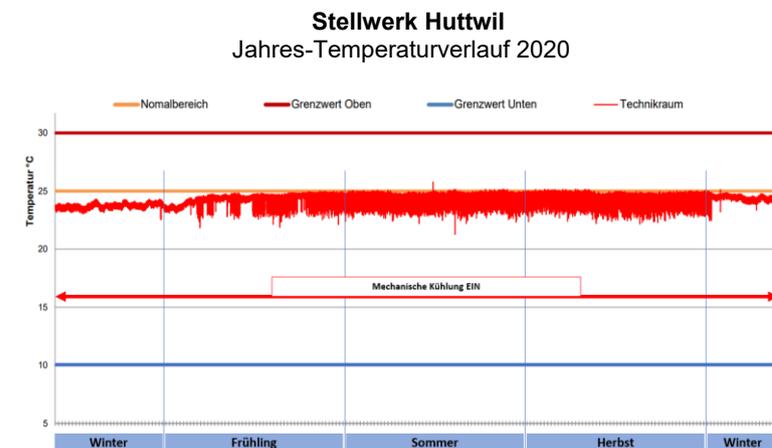


Abbildung 22 Jahresverlauf Raumtemperatur Stellwerk-Huttwil 2020

Raumregulierung nach der konventionellen Regulierung der Raumtemperatur. Die konstant geforderte Raumtemperatur von 25°C führt dazu, dass das Klimagerät während der Sommer- und Wintermonate aktiv kühlen muss. Dies ist an dem zackenförmiger Raumtemperaturverlauf (rote Kurve) erkennbar.

Im Gegensatz zu einem konventionell gebauten Technikgebäude (Abbildung 22) ist gut sichtbar, wie das Klimagerät ganzjährig arbeitet um die geforderte Raumtemperatur von 25°C hält. Mit dem neuen Konzept reduziert sich die Betriebszeit der mechanischen Kühlung auf die warmen Monate. Dies hat eine positive Auswirkung auf den Energieverbrauch und die Lebensdauer des Klimagerätes.

## Energieversorgungskonzept

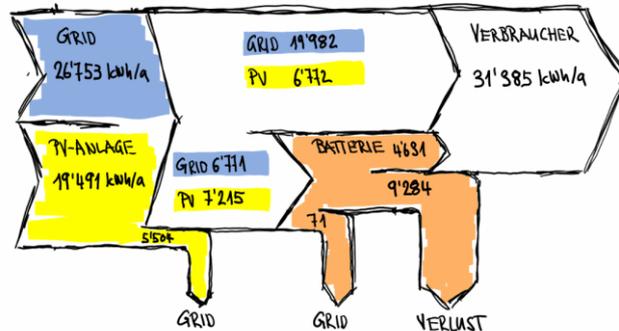
Das angewandte Energieversorgungskonzept ist grundsätzlich gut und deckt die geforderte Versorgungssicherheit ab. Zudem entspricht es durch den Einsatz umweltgerechter Produkte den Nachhaltigkeitszielen. Die

Salzbatterie wird als erweiterter Energiespeicher eingesetzt und betrieben und mit der Photovoltaikanlage werden die erneuerbaren Energien ausgebaut. In der vertieften Energieanalyse der drei Referenzobjekte, Schaltstation Holligen, Technikgebäude Menznau und Technikgebäude Biglen (Abbildung 23), konnten folgende Erkenntnisse gemacht werden:

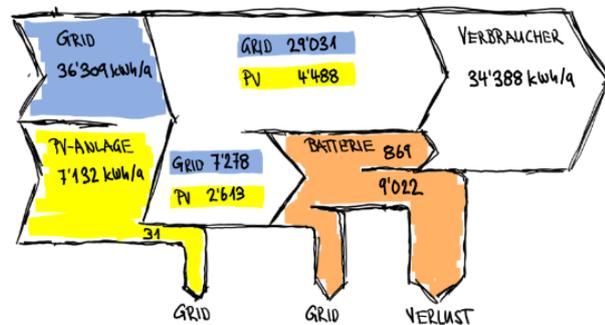
Das neue Versorgungskonzept weist einen Gesamtwirkungsgrad von maximal 80 % auf. Hauptverursacher des schlechten Wirkungsgrades ist die Salzbatterie. Diese hat eine Verlustleistung von rund 70 % bis 90 %. Grund der hohen Verlustleistung ist die Kerntemperatur von rund 250°C der Salzbatterie, was zu einer laufenden Selbstentladung führt. Um die geforderte Speicherkapazität aufrechtzuhalten, muss diese Selbstentladung laufend geladen werden. Die Höhe der Verlustleistung ist von der installierten Speicherkapazität der Salzbatterie abhängig.

Die Photovoltaikanlagen arbeiten sehr zuverlässig. Dank des Energiespeichers wird der produzierte Energieüberschuss gespeichert und in der Nacht den Verbrauchern im Technikgebäude abgegeben. Somit wird die gewonnene Energie nahezu zu 100 %

50Hz-Energieflussdiagramm 2020  
Schaltstation Holligen



50Hz-Energieflussdiagramm 2020  
Technikgebäude Biglen



50Hz-Energieflussdiagramm 2020  
Technikgebäude Menznau

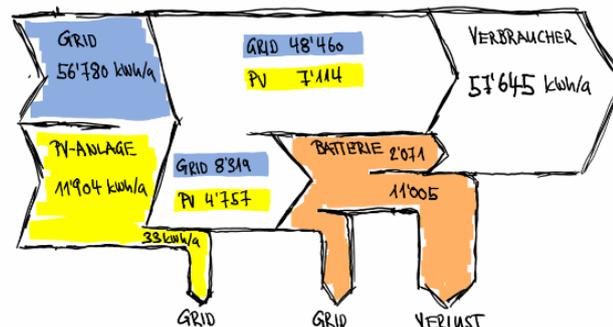


Abbildung 23 50Hz-Energieflussdiagramm diverse TG (2020)

Im Energieflussdiagramm wird dargestellt, wie sich die elektrische Jahresenergie im Technikgebäude verteilt. Die Energie wird vom Ortsnetz (Grid; blau dargestellt) und aus der PV-Anlage (gelb dargestellt) bezogen. Vom Grid fließt eine Teilenergiemenge direkt zum Verbraucher und eine weitere Teilmenge in die Energiespeicher (orange). Die produzierte Energie aus der PV-Anlage fließt zum Verbraucher, in den Energiespeicher und überschüssige Energie zurück ins Ortsnetz. Die Energie aus dem Energiespeicher fließt zum Verbraucher, zurück ins Ortsnetz und ein grosser Teil wird als Verlust (Abwärme) vernichtet.

dem Bahnbetrieb zu Verfügung gestellt. Aktuell wäre es aufgrund des schlechten Wirkungsgrades der Salzbatterie energetisch sinnvoller, die überschüssige Tagesenergie der PV-Anlage ins Ortsnetz zurückzuspeisen.

### Raumklima und Regulierung

Nur mit der neuen Anforderung an die Raumtemperatur (10°C – 26°C) konnte das Konzept umgesetzt werden. Das Zusammenspiel von Gebäudehülle und Klimagerät funktioniert sehr gut, und das geforderte Raumklima kann eingehalten werden.

### Gebäudehülle

Die geringere Wärmedämmung der Gebäudehülle von 0,5 W/m<sup>2</sup>K hilft im Winter, Herbst und Frühling, die aktive Kühlleistung zu reduzieren. Infolge der minimalen Wärmedämmung ist der sommerliche Wärmeschutz sehr wichtig. Smarte Fassadenkonzepte, welche sicherstellen, dass die Innenräume nicht überhitzen und mit zusätzlicher Energie gekühlt werden, sind zu entwickeln.

### Raumlayout

Das Aufheben der hermetischen Raumtrennung vom Stellwerkraum und Telecom- und Haus-technikraum hat sich bewährt. Die Abtrennung der zwei Technikbereiche Stellwerk und Haus-technik und Telecom mit einem Maschendrahtzaun funktioniert sehr gut. Anhand des neuen Raumlayouts sind nur noch zwei Kühlgeräte zur Klimatisierung notwendig. Das alte Raumlayout forderte drei Kühlgeräte.

Die Zusammenlegung des Batterieraums mit dem USV-Raum (TR3) hat nicht funktioniert. Die grosse Abwärme des Energiespeichers hat dazu geführt, dass sich der Raum stark überhitzt. Besonders im Sommer wurde dies zu einem grossen Problem. In der Weiterentwicklung des Technikgebäudes ist wieder ein separater Raum für den Energiespeicher vorgesehen.

### Energiespeicher

In Menznau wie in Biglen entspricht die produzierte PV-Energie der Verlustleistung der Salzbatterie. Aufgrund dieser Erkenntnis werden als Sofortmassnahme die Batterieblöcke auf ein Minimum (geforderte Autonomiezeit) zurückgebaut, d. h. die angedachte Speicherkapazität für die überschüssige Tagesenergie aus der Photovoltaikanlage wird zurückgebaut und die Energie soll künftig ins Ortsnetz 50Hz zurückgespeist werden. Wir sind aktuell daran, anstelle der Salzbatterie effizientere Energiespeicher zu prüfen. Wichtig ist, einen Energiespeicher mit einer geringen Selbstentladung zu finden.

### Eigenproduktion erneuerbare Energie

Die PV-Anlage hat sich bewährt. Anzustreben ist, dass immer die ganze Dachfläche ausgenutzt wird, weil der Initialaufwand der Baustelleninstallation gegenüber dem Material- und der Montage ein grosser Kostentreiber ist. Zu beachten ist, dass die Finanzierung der PV-Anlage durch das BAV nur gewährleistet ist, wenn ein Eigenbedarf ab 50% ausgewiesen werden

kann. Bei unseren Pilotanlagen liegt der Eigenbedarfsanteil bei >70%. Der hohe Eigenbedarf konnte mit dem zusätzlichen Energiespeicher erreicht werden.

## 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das neue Konzept für das Technikgebäude hat sich bewährt. Mit der Anpassung der Raumtemperaturanforderung von fix 25°C auf die minimale Raumtemperatur von 10°C konnte das Gebäude als «unbeheizt» deklariert werden. Nur mit der Anpassung der Raumtemperaturanforderungen konnten wir das Technikgebäude optimieren.

Die bauphysikalischen Simulationen haben sich in der Praxis bestätigt. Mit der gering gedämmten Gebäudehülle von 0,5 W/m<sup>2</sup>K konnte die Mindestraumtemperatur von 10°C problemlos eingehalten werden. Es musste weder mechanisch gekühlt noch in den kalten Monaten geheizt werden. Wir empfehlen jedoch, bei Anwendung dieses Konzeptes das Zusammenspiel von Mindestwärmeschutz und interner Abwärme objektspezifisch bauphysikalisch zu simulieren. In unserem Fall wurde die Raumtemperatur von 15°C nicht unterschritten, was zu einer weiteren Optimierung der Gebäudehülle verleiten könnte. Dies wird jedoch nicht empfohlen, da es eventuell zu Oberflächenkondensat und damit zu Schimmelbildung kommen kann.

Das angepasste Raumkonzept führt ohne Qualitätseinschränkungen bei Stellwerk und Telecom-Haustechanlagen zu einem kleineren Bauvolumen. Die beiden Räume (Stellwerk und Telecom-Haustechnik) konnten nur dank der unmittelbar angrenzenden Räume mit einem Maschendrahtzaun abgetrennt werden. Die Zutrittsregelung und -anforderung konnte gewährleistet werden. Mit dem offenen Raumkonzept erhöht sich im Gegensatz zum vorher hermetisch abgegrenzten Konzept das Brandrisiko. Dieses schätzen wir jedoch als gering ein. Positiv aber ist, dass wir bei dem offenen Raumkonzept mit nur zwei Klimageräten auskommen, was künftig über das ganz Portfolio zu weniger Investitions- und Unterhaltskosten führt.

Was sich auch nicht bewährt hat, ist die Hohlbodenaktivierung. Das Kosten-Nutzenverhältnis ist nicht gegeben. Um die geforderte Wirkung zu erzielen, muss eine dementsprechend grosse Umluftanlage installiert werden. Zurzeit werden keine Umluftanlagen zur Hohlbodenaktivierungen in unseren Technikgebäuden mehr verbaut.

Die Zusammenlegung der USV-Anlage und des neuen Energiespeichers (Salzbatterie) hat sich nicht bewährt. Die Abwärme der Salzbatterie führt zu einer unzulässigen Überhitzung des Raumes von teilweise über 40°C.

Das Konzept weg von den Bleibatterien hin zu einem zentralen Energiespeicher wird weiterverfolgt. Die Wahl des Energiespeicher ist jedoch sehr wichtig. Die Salzbatterie hat sich für unser System und unseren Bedarf nicht bewährt. Die stetige Abwärme (Verlustleitung >70 %) überhitzte den Raum, zudem ist die Energieeffizienz der Batterie nicht gegeben. Wir testen zurzeit andere Produkte.

Die Installation von PV-Anlagen auf dem Dach hat sich als sinnvoll und produktiv erwiesen. Der Eigenbedarf des Technikgebäudes sorgt für eine positive Wirtschaftlichkeit. Um die PV-Fläche auf dem Dach zu erhöhen, haben wir eine Indach-Anlage in Biberist erstellt. Aktuell verfolgen wir diese Variante nicht, da die aufgeständerten Dachanlagen flexibler und wirtschaftlicher sind. Um das Potenzial weiter auszuschöpfen, sollten Erweiterungen der PV-Flächen auf Fassadenflächen geprüft werden.

Für eine effiziente Energienutzung bietet sich die Kombination der PV-Anlagen mit einem Energiespeicher an, um die Stromversorgung zwischen Tag und Nacht auszugleichen. Die Wirtschaftlichkeit ist jedoch immer zu prüfen. Wir werden die Energiespeicherung weiterverfolgen.

Zusammenfassend wird die Fortsetzung und Erweiterung der Photovoltaikanlagen in Verbindung mit Speichersystemen empfohlen, um den Energiebedarf nachhaltig und effizient zu decken.