

Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik

MSR Topologie:

Die gesamte Anlage besteht aus 2 Einheiten:

- Energiezentrale
- Gebäudetechnik und Wärmeabnehmer

Beide Einheiten müssen perfekt zusammenarbeiten, um einen effizienten Betrieb zu ermöglichen. Hierzu wird eine entsprechende Datenschnittstelle implementiert, die via Datenbus für einen bidirektional Austausch relevanter Daten sorgt. Die Schaltschränke beider Einheiten sind im Technikraum der Energiezentrale verortet, sodass der Datenaustausch über ein lokal zu installierendes Netzwerk erfolgen kann. Als Protokoll für die Schnittstelle wird ModBus TCP vorgesehen. Die Datenpunkte für diesen Austausch müssen zwischen den Programmierern der Einheiten abgestimmt werden. Über dieses Netzwerk ist auch der Internetzugang via Router eingerichtet. Eine Firewall gemäß geltender Daten-/IT-Schutzrichtlinien wird seitens des Anlagenbetreibers eingerichtet und betrieben.

Die Daten beider Anlagen sollen auf einem in der Energiezentrale positionierten Rechner (GLT-Rechner) für Service und Überwachungszwecke mittels einer einheitenübergreifenden Visualisierung dargestellt werden, über passwortgeschützte Bedienerebenen sollen Änderungen der Betriebsparameter und Handeingriffe möglich sein. Eine entsprechende Schnittstelle der MSR zur GLT muss eingerichtet werden (ModBus TCP). Idealerweise werden für die MSR von Energiezentrale und Gebäude das gleiche System eingesetzt, was sowohl Service und Wartung erleichtern würde. Die Bedienung der MSR an den entsprechenden Schaltschränken über die lokal installierten Bedienterminals kann somit mit dem gleichen „look and feel“ gestaltet werden.

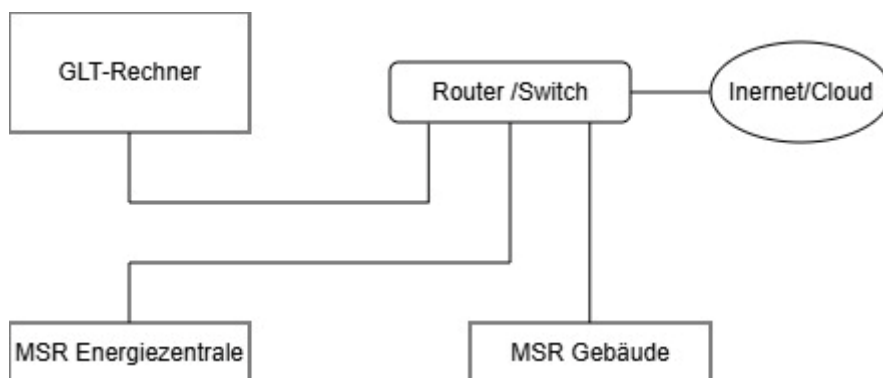


Abbildung 1 Netzwerk der Energiezentrale

Über den GLT-Rechner werden außerdem über ein noch zu definierendes Protokoll zentrale Daten an die Leitwarte des Anlagenbetreibers übermittelt. Diese Daten dienen ausschließlich der Visualisierung, nicht der Bedienung der Anlage.

MSR Energiezentrale

Um optimalen Betrieb zu ermöglichen, wird die gesamte Anlage mit einer umfangreichen Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) ausgestattet. In der MSR der Energiezentrale werden alle Daten der Erzeugungs-Anlage verarbeitet und die Abläufe geregelt. Diese Anlage wird aus betrieblichen Gründen von der restlichen Haustechnik getrennt betrieben. Außer Datenschnittstellen zum Austausch relevanter Daten mit den restlichen Anlagenteilen findet keine Verbindung statt.

Verbraucherabgänge und eigentliche MSR sind schaltschränkmäßig zu trennen. Idealerweise werden Kleinverbraucher wie Pumpen in einem separaten Schrank über Verteilerschienen und abgangsseitige LS-Schalter angespeist. Einer dieser Abgänge versorgt dann den MSR-Schrank. Der Vorteil ist dabei eine Trennung von Daten und (Klein-) Leistungskabeln.

Die Wärmepumpen werden direkt aus der NSHV mit Leistung versorgt und müssen hier nicht berücksichtigt werden.

Die Schaltschränke sind als Standschrank in Stahlblechausführung mit geschlossener Tür ausgeführt. Sie enthalten sämtliche für die Mess-, Steuer- und Regelaufgaben erforderlichen Komponenten wie speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), Ein-/Ausgangsmodule, Netzteile, Schaltgeräte, Klemmen sowie Kommunikationskomponenten. Der Innenausbau erfolgt übersichtlich, servicefreundlich und nach den einschlägigen Normen (z. B. DIN/VDE) sowie den Herstellerangaben der eingesetzten Betriebsmittel.

Die Montage erfolgt auf einer durchgehenden Montageplatte bzw. in einem Profilsystem mit standardisiertem Lochraster, das eine flexible Anordnung der Betriebsmittel auf mehreren Montageebenen ermöglicht. Die Komponenten werden funktional gruppiert (Energieeinspeisung, Leistungsteile, Steuerungsebene, Klemmenebene), um kurze Leitungswege, gute Übersicht und ausreichende Abstände für die Wärmeabfuhr zu gewährleisten.

Kabeleinführungen erfolgen seitlich von unten, Ein Sockel mit 20 cm Höhe ist hierzu vorzusehen.

Schaltschrank MSR

Für den Aufbau der MSR stehen max. 2 Schränke mit einer Breite von 120 cm zur Verfügung. Für eine Lüftung können rechtsseitig entsprechende Öffnungen vorgesehen werden. Frontseitig ist ein Bildschirm mit einer Tastatur und Tastaturablage vorzusehen.

Im oberen Schaltschrankbereich befinden sich in der Regel Hauptschalter, Sicherungen und Schutzeinrichtungen für die Spannungsversorgung. Darunter sind die SPS-CPU, E/A-Baugruppen, Feldbus-/Kommunikationsmodule sowie ggf. Hutschienen-Netzteile angeordnet. Im unteren Bereich werden die Reihenklemmen für Feldsensorik und Aktorik, Trennklemmen sowie Sammelschienen platziert.

Schaltschrank Kleinverbraucher

Für den Aufbau des Verteilers steht 1 Schaltschrank mit einer Breite von bis zu 120 cm zur Verfügung. Für eine Lüftung müssen entsprechende Öffnungen vorgesehen werden. Je nach verwendetem System befindet sich im oberen Teil die Haupt-Leistungseinspeisung mit Hauptschalter, Schutzeinrichtungen und Stromverteilerschiene. Diese ist mit abgesicherten Leistungsabgängen für die Hauptleistungen der größeren Pumpen und der MSR ausgestattet. Über einen Sammelabgang werden weitere Kleinverbraucher mittels Einzelabsicherungen über Phasenkamm angespeist.

Alle Bauteile müssen gut zugänglich sein, um Prüf-, Wartungs- und Austauscharbeiten im laufenden Betrieb mit minimalen Stillstandszeiten durchführen zu können.

Systemüberblick

Das Heizsystem nutzt ein Erdsondenfeld als regenerative Wärmequelle zur Versorgung einer Sole/Wasser-Wärmepumpenkaskade. Die Wärmepumpen beladen Heizungs-Pufferspeicher mit 2 unterschiedlichen Temperaturniveaus mit Heizwasser, aus denen die Wärme bedarfsgerecht an die Heizkreise der Gebäudeanlage abgegeben wird. Ergänzend ist eine Luftwärmetauschereinheit vorgesehen, über die das Erdsondenfeld thermisch entlastet und regeneriert werden kann

Erdsondenkreis

Die Wärmequelle besteht aus einem vertikalen Erdsondenfeld mit mehreren ungleich großen Solekreisen, die über einen Sammelverteiler hydraulisch zusammengefasst werden. Es werden die Vorlauftemperaturen der Einzelfelder getrennt erfasst. Betriebsabhängig können die einzelnen Felder über Klappenventile zu oder abgeschaltet werden. Die Erdsondenkreise dienen der primären Bereitstellung von Quellenergie für die Wärmepumpen.

Luftwärmetauscher

Die Luftwärmetauscher sind hydraulisch mit der Sole- bzw. Heizungsseite so verschaltet, dass deren Wärme über 2 unterschiedliche Möglichkeiten genutzt werden kann.:

- Betrieb als Quelle: Dies kann bei entsprechender Leistung als ausschließlicher Wärmelieferant erfolgen, oder parallel zu den Erdsonden zur thermischen Entlastung.
- Betrieb zur Regeneration: Diese kann aktiv oder passiv erfolgen. Bei aktiver Fahrweise wird durch eine entsprechende Pumpe in Zeiten von Wärmepumpen-Stillstand das Sondenfeld über Wärme aus den Luftwärmetauschern regeneriert. Bei passiver Fahrweise wird ein hohes Temperaturniveau der Luftwärmetauscher vorrangig zur Wärmeerzeugung über die WP genutzt. Hat der RL eine höhere Temperatur als das Sondenfeld, kann der RL über das Sondenfeld geführt und dieses dabei regeneriert werden.

Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine mehrstufig aufgebaute Wärmepumpenkaskade aus mehreren parallel geschalteten Sole/Wasser-Wärmepumpen. Jede Wärmepumpe ist mit eigener Sole- und Heizwasserpumpe an einen gemeinsamen Sammelhydraulikstrang

angeschlossen. Die Beladung des Heizungspuffers kann nur über die Wärmepumpen 1-3 erfolgen, für die Beladung des Puffers der Beckenheizung können alle WP genutzt werden. Die Kaskadenregelung übernimmt die stufenweise Zuschaltung der einzelnen Wärmepumpen in Abhängigkeit von Pufferspeichertemperatur, Außentemperatur und aktueller Heizlast, sodass eine hohe Jahresarbeitszahl und eine an den Bedarf angepasste Teillastfähigkeit erreicht werden.

Puffer Ladekreis

Auf der Heizungsseite laden die Wärmepumpen die Pufferspeicher, die auch als hydraulische Weiche und Energiespeicher zwischen Wärmeerzeugung und Heizkreisen fungieren. Die Pufferspeicher werden über eine geeignete Be- und Entladehydraulik so betrieben, dass sich eine stabile Temperaturschichtung und eine sichere Versorgung der Heizkreise mit der geforderten Vorlauftemperatur ergibt. Die Verbraucher (Flächenheizungen, Heizkörperkreise, Lüftungsgeräte mit Heizregister) werden über eigene Pumpen-Mischergruppen aus den Pufferspeichern versorgt, sodass die Wärmepumpenkaskade weitgehend unabhängig von den schwankenden Volumenströmen im Verteilnetz arbeiten kann.

Datenpunkte:

Die Systematik der erfassten Datenpunkte folgt der Notwendigkeit, alle regelungsrelevanten Daten möglichst über eine physikalische Messung zu erfassen. Dies dient der Erhöhung der Ausfallsicherheit und der busunabhängigen Frequenz der Messung.

Eine Liste der Datenpunkte befindet sich im Anhang, getrennt nach Sensorik, Aktorik und WMZ. Die Liste enthält ebenfalls eine Kabelzugliste. Im Weiteren werden die Datenpunktbezeichnungen aus der Liste verwendet.

Die busgebundene Kommunikation erfolgt gemäß folgendem Schema:

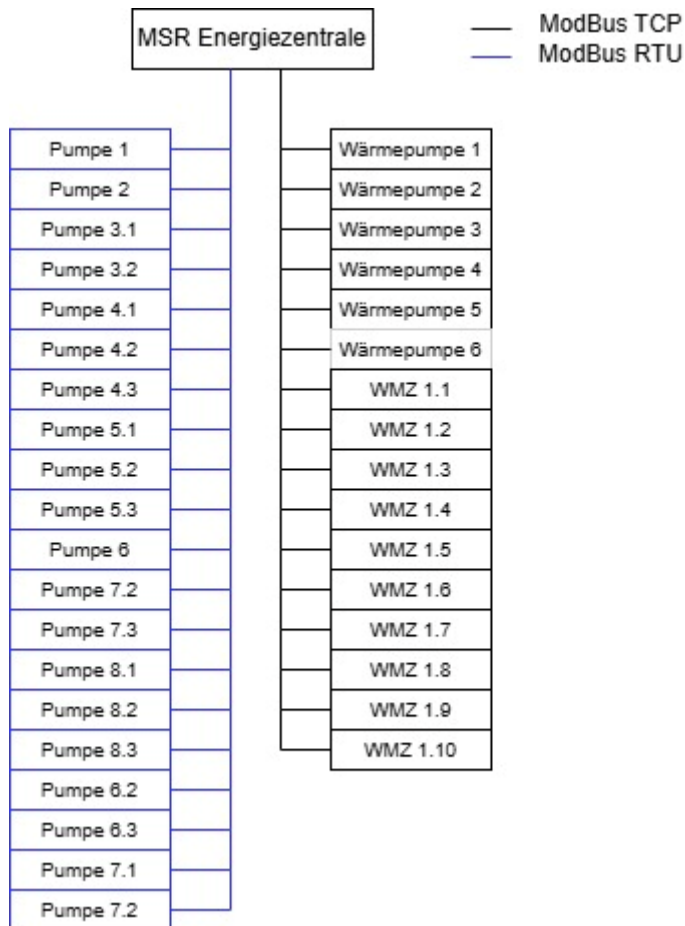


Abbildung 2: busgebundene Kommunikation Feldebene

Regelungsstrategie

Die Energiezentrale dient im Wesentlichen „nur“ der Bereitstellung der im Gebäude benötigten VL-Temperaturen in den Pufferspeichern. Hierzu ist ein Datenaustausch mit der MSR der Haustechnik nötig (s. MSR Topologie:), um die aktuell benötigten Temperaturen zu übermitteln. Der Pufferspeicher dient zur Entkopplung von Wärmeerzeuger und Heizkreis(en) sowie zur Reduzierung der Schalthäufigkeit der Wärmeerzeuger. Die Temperatur der Pufferspeicher wird über je 4 Fühler (oberer und mittlerer/unterer Speicherfühler) erfasst.

Wärmepumpenkaskade

Nur WP1-3 können hydraulisch zur Beladung des PS1 genutzt werden. WP4-5 und die WP6, die vorerst als Platzhalter verstanden wird, können PS1 nicht beladen. Sie können aber parallel für die Ladung der PS2/3 angefordert werden.

Im Bedarfsfalle können alle WP (WP1-5(6)) für die Beladung der PS2/3 genutzt werden.

Je nach vorgegebener Priorisierung in der Wärmeversorgung, die sich im Betrieb durch Vorgabe von außen ändern kann, sind die Puffer zu beladen.

Die Wärmepumpenkaskade ist so auszusteuern, dass der Puffer in der oberen Hälfte (PS1: TIC3.14/3.15, PS2/3 TIC 3.02/3.03 bzw. 3.06/3.07) die geforderte VL-Temperatur zur Verfügung stellt. Wird die Temperatur unterschritten, muss die Kaskade entsprechend

nachregeln durch Anhebung der Abgabeleistung. Wird der Sollwert an darunter liegenden Fühlern (PS1: TIC3.16/3.17, PS2/3 TIC 3.04/3.05 bzw 3.08/3.09) erreicht, muss die Leistungsabgabe reduziert werden.

Die Werte sind so zu wählen, dass ein möglichst kontinuierlicher Betrieb der Wärmeerzeuger mit begrenzter Taktrate gewährleistet wird.

Normalbetrieb/Adaption

Im Normalbetrieb ergibt sich eine Betriebsführung rein nach Pufferspeichertemperatur, so wie beschrieben.

Das System muss aber aufgrund zu erwartender, großer Lastschwankungen eine „Lernfähigkeit“ bieten, um vorausschauende Beladung der Puffer zu ermöglichen. Das bedeutet, dass die vorgenannten Leistungsregelung, die initial auf die mittleren beiden Sensoren der Pufferspeicher ausgelegt ist, ihren Regelungsmittelpunkt nach oben (vor erhöhtem Bedarf) und unten (bei geringerem Bedarf) verlagern kann. Die Regelung erfasst kontinuierlich die Temperaturverläufe in beiden Pufferspeichern (mehrere Schichtebenen), die zeitabhängigen Leistungsanforderungen der Heizkreise sowie die Taktung und Modulation des Wärmeerzeugers. Auf Basis dieser Daten wird für verschiedene Tageszeiten und Betriebszustände (z. B. Morgenaufschaltung, Tagbetrieb, Nachtbetrieb, Wochenendbetrieb) ein Lastprofil gebildet und fortlaufend aktualisiert. Hieraus leitet die Regelung dynamische Sollstrategien für die Beladung der beiden Speicher ab, um Taktzahlen zu reduzieren, Laufzeiten zu glätten und die verfügbare Pufferspeicherkapazität optimal zu nutzen.

Erdwärmesondenkreise

Die Daten der 3 Erdwärmesondenfelder werden über die Temperatur-Sensoren TIC 0.0 – 0.4 und den WMZ 1.2 gemessen und können über die Ventile V0.0 -0 .2 getrennt voneinander zu-/abgeschaltet werden.

Somit können die Sondenfelder je nach Leistungsbedarf der WP-Kaskade und des Entladezustandes des jeweiligen Sondenfelds zur Wärmeentnahme oder zur Regenerierung zu- oder abgeschaltet werden.

Da der konstante Betrieb der WP-Kaskade möglichst Vorrang hat, ist eine „passive“ Regeneration der Sondenfelder über die Luftwärmetauscher zu bevorzugen. D.h. dass im Fall des Betriebs der Luftwärmetauscher als Wärmequelle ein Durchleiten des RL der Wärmepumpen durch die Erdwärmesonden erfolgt, sofern der RL wärmer ist als die mittlere Sondenentzugstemperatur (+ einstellbarer Hysterese). Vorzugsweise findet diese Regenerierung im Teillastfall nur für einen Teil der Erdsonden statt, um einen spürbaren Temperaturhub in den Sonden zu erreichen.

Die Sondereintrittstemperatur darf -3°C in der Spitze und im Monatsmittel 0°C nicht unterschritten. Die Entnahmeleistung aus dem Netz muss bereits vor Erreichen dieser Grenze über geeignete Maßnahmen reduziert werden, um einen Betriebsstopp des Netzes zu vermeiden. Die Regenerationsgrenztemperatur für die Sonden darf im Monatsmittel nicht über $36,2^{\circ}\text{C}$ liegen, die max. Sondereintrittstemperatur bei aktiver Regeneration liegt bei $41,2^{\circ}\text{C}$.

Luftwärmetauscher-Kreis

Die Luftwärmetauscher dienen sowohl der Regeneration der Erdwärmesonden, als auch als direkte Energiequelle. Über die Ventile -V1.7 - V1.11 kann eine Auswahl der Quellen, eine Mischung beider Wärmequellen oder eine Serienschaltung (passive Regenerierung) beider Quellen erfolgen. Über die Pumpe P2 und Ventil V1.7 kann in Zeiten ohne Wärmepumpenbetrieb aktiv regeneriert werden.

Eine Abtauung der Luftwärmetauscher ist aktuell nicht möglich, daher darf der Luftwärmetauscher nur über 5 °C Außentemperatur und 0 °C Soletemperatur betrieben werden.

Störungen

Die Heizanlage ist so zu regeln, dass Störungen einzelner Komponenten (Wärmepumpen, Pumpen, Ventile, Sensorik) erkannt, lokalisiert und so behandelt werden, dass die Gesamtanlage möglichst weiter betriebsfähig bleibt. Störungen sind zu erfassen, zu klassifizieren (Warnung, Störung, Abschaltung) und optisch/akustisch im Schaltschrank sowie an die Gebäudeleittechnik zu melden.

Wärmepumpen – Störungen und Reaktion

Typische Störungen der einzelnen Wärmepumpen müssen als Meldung in der Visualisierung signalisiert und als entsprechend benannte Meldung an die Serviceabteilung gemeldet werden.

- Bei Störung einer Wärmepumpe wird diese Wärmepumpe sofort außer Betrieb genommen, der zugehörige Verdichter gesperrt und die interne Umwälzpumpe ggf. in einen sicheren Zustand gefahren. Bei einem Gasalarm muss zusätzlich der auf dem Dach befindliche Ablüfter eingeschaltet werden.
- Die verbleibenden Wärmepumpen der Kaskade übernehmen automatisch die Leistungsbereitstellung, soweit deren Leistungsreserve dies zulässt.
- Bei Ausfall mehrerer Stufen kann die Vorlauftemperatur-Sollwertvorgabe begrenzt bzw. ein reduzierter Heizbetrieb (Lastabwurf) aktiviert werden, um die Restleistung der Anlage an die Verbraucher anzupassen.

Persistierende Störungen an einer Wärmepumpe können nur durch manuellen Eingriff (Quittierung durch Fachpersonal nach Fehlerbeseitigung) zurückgesetzt werden. Kurzzeitige Grenzwertverletzungen (z. B. kurzzeitige Hochdruckspitze) können mit definierter Wiederanlaufsperrzeit automatisch quittiert werden, sofern die Ursachen entfallen sind.

Pumpen – Störungen und Reaktion

Für alle relevanten Heizungs-, Quell- und Ladepumpen sind mindestens Betriebs- und Störmeldungen zu erfassen. Es sind unterschiedliche Störmeldeerfassungen zu integrieren. In Kreisen ohne weitere Sensorik gilt ausschließlich der Status der Betriebs-/Störmeldung, in Kreisen mit Volumenstrommessung gilt folgende Vorgehensweise:

Wird bei laufender Pumpe kein ausreichender Volumenstrom erkannt ist eine Störmeldung „Volumenstrom zu gering“ auszugeben und der Betrieb der betroffenen Wärmepumpenstufe ggf. kontrolliert zu reduzieren bzw. abzuschalten, um Hochdruckstörungen zu vermeiden.

- Sind redundante oder parallel betriebene Pumpen vorgesehen, ist im Störfall automatisch auf eine Reservepumpe umzuschalten (Wechselschaltung mit zyklischer Betriebsumschaltung im Normalbetrieb).
- Bei Ausfall einer zentralen Pumpe (z. B. Ladepumpe Pufferspeicher) ist der zugehörige Betriebsteil in einen sicheren Zustand zu fahren (z. B. Sperrung der Wärmepumpenladung, Anforderung Ersatzwärmeerzeuger).

Ventile – Störungen und Reaktion

Störungen an motorisch betriebenen Ventilen (z. B. 2-/3-Wegeventile, Umschaltventile, Zonenventile) ergeben sich insbesondere aus Antriebsausfall, Fehlstellung oder blockierter Mechanik.

- Wird eine vom Regler vorgegebene Ventilstellung nicht innerhalb einer definierten Zeit erreicht, ist eine Ventilstörung zu melden
- Bei Ventilstörung ist der betroffene Anlagenteil druck- und temperaturmäßig in einen sicheren Zustand zu überführen (z. B. festes Fahren der Wärmepumpen auf Minimalleistung oder Abschalten der betreffenden Stufe, Öffnen von Sicherheits-/Bypasswegen, falls vorhanden)
- Rückschlagventile und nicht überwachte Absperrarmaturen sind im Rahmen der Störungsdiagnose zu berücksichtigen, da Fehlstellungen oder Verblockungen zu unzureichendem Volumenstrom und Folgestörungen an Wärmepumpen und Pumpen führen können.

Im Falle eines Glykolalarms ist der entsprechende hydraulische Zweig zu sperren und aus der weiteren Funktion auszunehmen. Eine hochpriorie Signalisierung und Benachrichtigung muss ohne Verzögerung erfolgen. Die Glykolsensoren steuern autark einen Aktor an.

Bei einem partiellen Anlagenausfall (z. B. 1 Luftwärmetauscher) kann die Anlage zwar weiterarbeiten, eine Anpassung der Anlagenleistung oder Änderung in der Quellenauswahl muss vollautomatisch erfolgen. Bei undefiniertem Fehlerbild bzw. einem Alarm aus in der Zentrale verorteten Sensoren muss die Anlage im Notbetrieb mit reduzierter Leistung weiter betrieben werden um v.a. im Winter Gebäude und Anlagenschäden zu verhindern. Bei zusätzlich kritischen Werten anderer Sensoren (z. B. Anlagendruck) müssen die Wärmeerzeuger abgeschaltet werden. Die Anlage ist außer Betrieb zu nehmen!

Meldung, Protokollierung und Quittierung

Alle relevanten Störungen und Warnungen sind mit Zeitstempel zu erfassen, im lokalen Regler zu protokollieren und an die übergeordnete Gebäudeleittechnik weiterzugeben (mindestens Sammelstörung, ggf. Einzelmeldungen nach Vorgabe des Auftraggebers). Die Quittierung der Störungen erfolgt lokal oder über die Leittechnik entsprechend den Sicherheitsanforderungen;

sicherheitsrelevante Begrenzungs- und Abschaltfunktionen dürfen durch Quittierung nicht außer Kraft gesetzt werden.