



**Leitfaden
Energieeffiziente
Schaltschrankklimatisierung**



TECHNIK MIT SYSTEM

IMPRESSUM

Herausgeber

Friedrich Lütze GmbH

Bruckwiesenstraße 17-19, D-71384 Weinstadt
Tel. +49 7151 6053-0, Fax +49 7151 6053-277
info@luetze.de • www.luetze.de

Auflage 1 • 04.2014

Autor:

Martin Lack

Dipl. Ing. Martin Lack, MBA
Produktmanager Cabinet

Redaktion/Layout/Kontakt

Lütze Consulting & Services GmbH & Co.KG

Marketing Services
wolfram.hofelich@luetze.de

Druck

Druckhaus Waiblingen

D-71332 Waiblingen • Printed in Germany

Copyright

Geschützte Warenzeichen und Handelsnamen sind in dieser Publikation nicht immer als solche kenntlich gemacht. Dies bedeutet nicht, daß es sich um freie Namen im Sinne des Waren- und Markenzeichnungsrechts handelt. Aus der Veröffentlichung kann nicht entnommen werden, dass die verwendeten Bezeichnungen oder Bilder frei von den Rechten Dritter sind. Die Informationen werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten, Bildern und Daten wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Wir lehnen daher jede juristische Verantwortung oder Haftung ab. Für Verbesserungsvorschläge oder Hinweise die zur Richtigstellung bzw. Wahrheitsfindung dienlich sind, sind wir Ihnen natürlich dankbar. Der Verfasser übernimmt jedoch keine Verantwortung für den Inhalt dieser Dokumente.

Leitfaden
Energieeffiziente Schaltschrankklimatisierung

Danksagung

Dieser Leitfaden konnte nur durch die intensive wissenschaftliche Unterstützung des Institutes für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart erstellt werden. Ich danke insbesondere Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Heidemann.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Dipl.- Ing. Elmar Rothe, Senior Consultant bei der Friedrich Lütze GmbH, für die großzügige und tatkräftige Unterstützung. Er hat mit seinem gesamten Erfahrungsschatz wesentlich zur Realisierung dieses Leitfadens beigetragen.

Weinstadt im April 2014,

Martin Lack

Leitfaden

Energieeffiziente Schaltschrankklimatisierung

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort
2. Einleitung
3. Thermische Schaltschrankplanung
 - 3.1.1 Definitionen und Fachbegriffe
 - 3.1.2 Planungsregeln zur effektiven Schaltschrankentwärmung
 - 3.1.3 Praxisbeispiele
4. Wärmetechnische Grundlagen im Schaltschrank
5. Literatur
6. Checkliste

Efficiency in Automation

Connectivity • Cabinet • Control

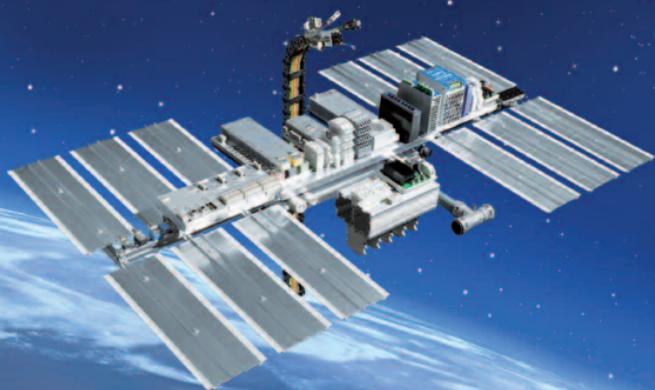
Efficiency in Automation - In diesem kurzen Satz spiegelt sich unsere gesamte Firmenphilosophie.

Als erfahrener Spezialist der Automatisierungstechnik mit Lösungen in den Bereichen hochflexible Leitungen, Kabelkonfektion, Interface, Stromüberwachung sowie Schaltschrankverdrahtung beschäftigen wir uns seit Jahren mit dem Thema Effizienz.

Für LÜTZE bedeutet Effizienz in der Automatisierung mit nachhaltigen Produkten und Lösungen die Leistungsfähigkeit Ihrer Anlagen weiter zu erhöhen.

Efficiency in Automation steht dabei automatisch auch sinnbildlich für das Streben nach einem effizienten Umgang mit unseren Kunden. Ganz im Sinne der kurzen Wege und der flachen Organisation eines mittelständischen Familienunternehmens.





LITZE ®
TECHNIK MIT SYSTEM

SkyBlue - Nachhaltige Antworten und Lösungen

„Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und ihrer Zulieferer hängt ganz wesentlich davon ab, wie es uns gelingt praxisnahe Ergebnisse zu entwickeln. Die Resultate, die wir heute gemeinsam erarbeiten, sind unsere Wettbewerbsvorsprünge der Zukunft.“

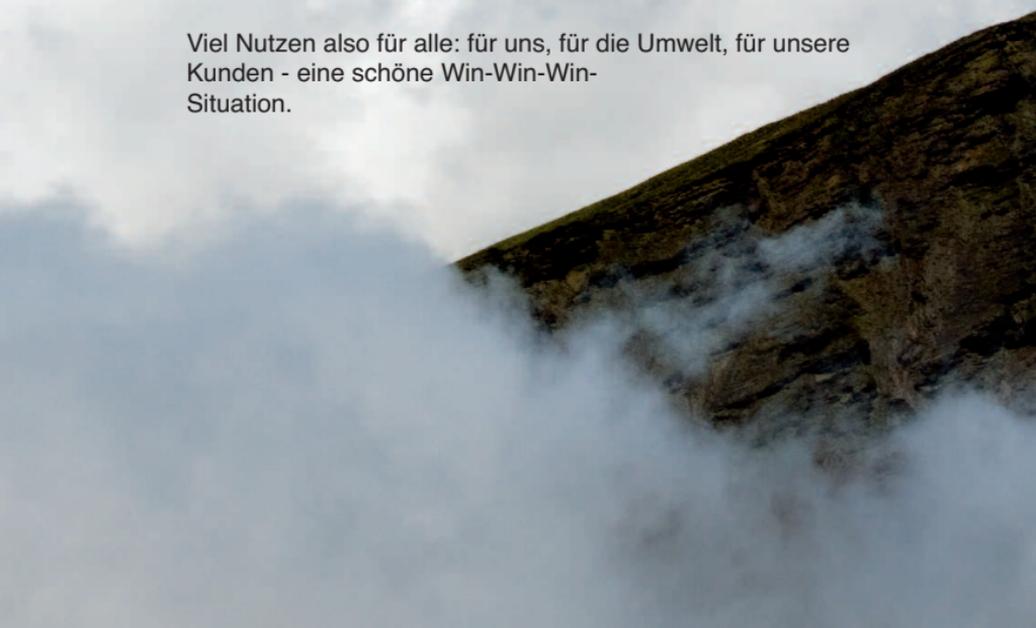
LÜTZE CEO Udo Lütze,
Mitglied im Lenkungsausschuss der
Green Carbody Innovationsallianz

Die Zukunft ist blau

Nachhaltig zu wirtschaften bedeutet vorausschauend zu denken und zu handeln. Zu verstehen und zu verinnerlichen, dass dauerhafter Erfolg wichtiger ist als kurzfristige Gewinnmaximierung. Eine Haltung, zu der sich LÜTZE schon seit geraumer Zeit bekennt. Ökonomische und ökologische Verantwortung ergänzen sich sinnvoll und spiegeln sich in nachhaltiger Unternehmensführung und Produktpolitik wider – und künftig im Begriff SkyBLUE.

Wir fertigen unsere Produkte ressourcen- und energiebewusst. Wir verwenden langlebige, umweltschonende Materialien. Und unsere Produkte helfen wiederum unseren Kunden, Energie und Ressourcen einzusparen.

Viel Nutzen also für alle: für uns, für die Umwelt, für unsere Kunden - eine schöne Win-Win-Win-Situation.



SkyBLUE



Ware mit wahren Werten

Den Wert eines Produktes oder einer Lösung von LÜTZE bestimmt also immer auch deren nachhaltige Qualität. Jede Innovation wird künftig nur dann erfolgreich sein, wenn sie dauerhaft positiv wirkt. So stellen wir beispielsweise alterungsbeständige Komponenten bereit und solche mit extrem hohem Wirkungsgrad.

Die nötigen Wissens- und Fertigungsvorsprünge erarbeiten wir uns beispielsweise in zahlreichen Gemeinschaftsprojekten mit dem Ziel verbesserter Energieeffizienz und nachhaltiger Technologien und Industrien. So gibt LÜTZE Antworten und weist Wege für einen verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen, mit unserer Umwelt und letztlich unserer Zukunft.

1. VORWORT

LÜTZE - Efficiency in Automation

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

durch die ständige Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik wird es immer weniger relevant wo eine Produktionsanlage steht. Ganz im Gegenteil: Mittlerweile ist klar, daß die Automation immer mehr zur Standortsicherung auch bei uns beiträgt.

Doch damit nicht genug. Um zukunftsfähig zu sein, müssen Maschinen und Anlagen zunehmend auch effizient und nachhaltig betrieben werden können.

Konkret auf den Schaltschrank übertragen heisst das: Energie und Geld beim Kühlen sparen und möglichst keine Ausfälle riskieren.

Und genau an dieser Stelle kommt LSC **AirSTREAM** ins Spiel! Mit der Weiterentwicklung des seit über 40 Jahren am Markt bewährten LSC Systems zur Schaltschrankverdrahtung ist uns der entscheidende Schritt für eine Erhöhung der Nachhaltigkeit Ihrer Anlage gelungen.

Und durch die effiziente und nachhaltige Gestaltung Ihres Schaltschrankdesigns kommt es zudem zu einer belastbaren Kostensenkung Ihrer Anlage - die folgenden Seiten belegen dies eindrucksvoll!

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit und eine spannende Lektüre dieses aufschlussreichen Leitfadens für mehr Effizienz in der Automatisierungstechnik.

Herzlichst,

Ihr Udo Lütze

2. EINLEITUNG

Einleitung

Durch die fortschreitende Miniaturisierung von elektronischen Bauelementen in Schaltschränken für die Fertigungstechnik erhöhen sich die Packungsdichte und die Verlustleistung der Bauteile im Schaltschrank. Diese Verlustleistung wird als Wärme in den Schaltschrank abgegeben und führt im Schaltschrankinneren zu hohen Lufttemperaturen, die eine Überhitzung und damit eine Reduktion der Bauteillebensdauer zur Folge haben können.

Zur Aufrechterhaltung der *Funktionalität* des Schaltschranks muss ein ausreichend niedriges Temperaturniveau im Schaltschrank herrschen. Kann dieses Temperaturniveau nicht durch die alleinige Wärmeabgabe an den Schaltschrankoberflächen erreicht werden, müssen zusätzlich geeignete Klimakomponenten verwendet werden.

Neben dem Aspekt der Funktionalität besteht heutzutage die Forderung nach einem energieeffizienten Schaltschrankbetrieb.

Energieeffizienz bei der Schaltschrankklimatisierung beinhaltet neben einer effizienten Bereitstellung von Kühlleistung deren bedarfsgerechte Verteilung im Schaltschrankinneren.

Wie sich in der Praxis zeigt, sind reale Temperaturverteilungen im Luftvolumen von Schaltschränken nicht homogen, sondern vielmehr mehrdimensional ausgeprägt. Abb. 1.1 zeigt exemplarisch eine Temperaturverteilung im Luftvolumen zwischen Bauteilen bei stationärem Schaltschrankbetrieb. Durch enge Nachbarschaft von Bauteilen erhöhter Oberflächentemperatur und/oder Strömungstotgebieten im Schaltschrankinneren entstehen insbesondere zwischen den Bauteilen Luftzonen mit deutlich höheren lokalen Temperaturen (Hotspot-Bereiche). Die Bildung von Hotspot-Bereichen wird beeinflusst durch die Strömungsführung der Schaltschrankinnenluft, die Geometrie des Verdrahtungssystems, die freiwerdende Verlustleistung und deren Verteilung, die Bauteilanordnung sowie den Aufstellort des Schaltschranks.

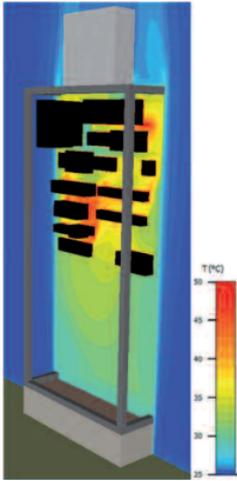


Abbildung 1.1: Temperaturverteilung im Luftvolumen zwischen Bauteilen (schwarz) für stationären Schaltschrankbetrieb mit Dachkühlgerät (grau)

Um sowohl den Aspekten der Funktionalität als auch der *Energieeffizienz* beim Schaltschrankbetrieb gerecht zu werden, sollte parallel zu der Schaltschrankplanung nach elektrischen Gesichtspunkten eine thermische Schaltschrankplanung stattfinden.

Die Firma Friedrich Lütze GmbH möchte mit dem vorliegenden Planungshandbuch seinen Kunden, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einen Leitfaden zum Thema energieeffizienten Schaltschrankbetrieb unter Verwendung des *LSC-Verdrahtungssystems* zur Hand geben.

Bestandteil des Leitfadens sind einfache Regeln (vgl. Kap. 3.2) für die Schaltschrankplanung nach thermischen Gesichtspunkten.

Anhand von Praxisbeispielen (vgl. Kap. 3.3) wird erläutert, welche Verbesserungsmaßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung von Hotspot-Bereichen im Schaltschrankinneren an bereits ausgeführten Anlagen durchgeführt werden können.

Der interessierte Leser kann sich zudem ausführlich über die wärmetechnischen Grundlagen im Schaltschrank (vgl. Kap. 4) informieren.

Die Inhalte des Planungshandbuches wurden im Rahmen des Teilprojektes 4.2.1 „Energie und kosteneffiziente Klimatisierung im Karosseriebau, Untersuchung optimierter innerer Schaltschrankaufbauten“ auf Initiative der Innovationsallianz „*Green Carbody Technologies*“ erarbeitet.

Über 40 Jahre LSC Erfolgsgeschichte

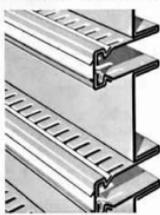
LSC von LÜTZE - Das Original für mehr Platz und Effizienz im Schaltschrank seit 1972. Eine kleine Zeitreise durch über 40 Jahre Leidenschaft für die Schaltschrankverdrahtung

1972

Erfindung des LSC-Systems durch Friedrich Lütze
 ...ein Kundenwunsch nach neuen Verdrahtungsideen bringt Friedrich Lütze auf die Idee des LSC-Verdrahtungssystems... Kurze Zeit später erfolgte die Markteinführung des LSC-Verdrahtungssystems mit großem Erfolg auf Seiten der Automobilindustrie

1975

Dafür sind wir bekannt:



wir haben System- auch beim Verdrahten.

Es ist es auch bei der neuen LÜTZE-Systeme LSC 200er und 300ergerade: Die rechte Seite der X-Verdrahtung und der Kabelverdrahtung.

Das sind Vorteile der LÜTZE-Systeme:
 - Ersetzen Sieben von Kabeln bei Leitungen und
 - Einmalige Montage mit 20 bis 30 mm
 - Keine Steckplatten, Kabelkanäle, Verteilblech
 - Kabelkanäle können jetzt an die Hand gestellt
 werden.
 - Verdrahtung von vorne möglich. Die LSC-Verdrahtung
 ist einfach und übersichtlich. Leitungen sind 20mm
 und eine Kabelkanalsystem abgedeckt.
 - 80% weniger für einen, Ihre Probleme sind die meisten.
 Bitte schreiben Sie uns. Preisliste gratis.

LÜTZE

Friedrich Lütze - 7351 Grottelbach - Postfach 10
 Telefon 07131/3238 - Telex 7-24289 wj-d

1970er Jahre

Markteinführung LSC-A

Die ursprünglichste Form eines LSC-Rahmens: die Bauform A. Diese Rahmenform ist in sich komplett geschlossen und erforderte eine X-Verdrahtung.

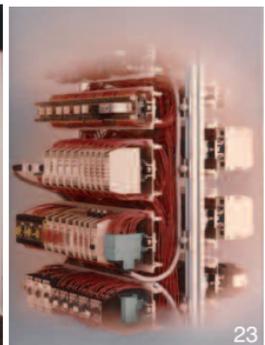
Durch den kompletten Aufbau aus Aluminium, verringerte sich das Handlings- und Transportgewicht auf ein Drittel gegenüber einer Montagetafel.

1980

1980 er Jahre

Einführung LSC-B zur wirtschaftlichsten Raumausnutzung im Schaltschrank. Aufbau und Verdrahtung erfolgt auf zwei Ebenen mit Zugangsrichtung von vorne. Rückseite die Verdrahtungsebene und Vorderseite die Gerätemontageebene.

1985



1990

1990er Jahre

Markteinführung LSC-C, die kleinere, leichtere Ausführung des Lütze-Systems.



1995

2000

2000er Jahre

Markteinführung LSC-D als eine Weiterentwicklung des stabilen LSC-B und der leichteren Bauweise des LSC-C. LSC-D besitzt besonders viel Tiefe für große Komponenten.

2005

2010



GEFÖRDERT VOM

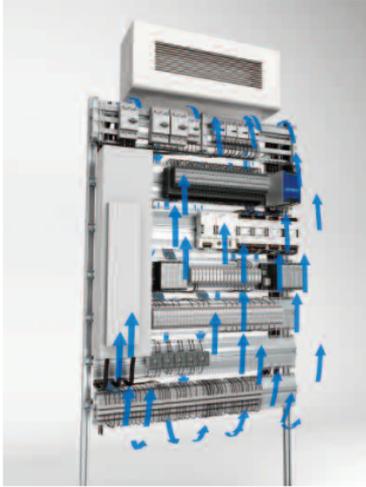


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

LÜTZE ist gemeinsam mit namhaften deutschen Firmen aus dem Automobilbau Projektpartner der **Innovationsallianz Green Carbody Technologies** (Grundlagenforschungsprojekt zur Steigerung der Energieeffizienz, gefördert vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung).

Eines der Ergebnisse: Durch die hervorragenden thermodynamischen Eigenschaften des LSC-Systems und den im Leitfaden angeführten Empfehlungen, kann die zugeführte Kühlenergie deutlich reduziert werden.

2012



**Markteinführung
LSC AirSTREAM System**
LÜTZE stellt mit
LSC Air**STREAM** ein
richtungsweisendes
Thermikkonzept für den
Schaltschrank vor.

Dank intelligenter Luftführung
sind gegenüber traditionellen
Verdrahtungssystemen Ener-
gieeinsparungen bei der
Schaltschrankkühlung von
bis zu 23% möglich.

2013

Vorstellung LSC AirSTREAM Onlinekonfigurator

Das LÜTZE-Verdrahtungssystem kann ab sofort in 5 einfachen
Schritten online konfiguriert werden.

LÜTZE setzt mit dem webbasierten und modularen Online-
Konfigurator für das LSC Air**STREAM** Verdrahtungssystem
einen Meilenstein in punkto Handling und Software-Ergonomie.

**Efficiency in Cabinet: Start der europaweit erfolgreichen
LSC AirSTREAM Roadshow für mehr Effizienz im
Schaltschrank.**

2014

Präsentation des richtungsweisenden Thermikkonzepts
direkt beim Kunden vor Ort.



3. THERMISCHE SCHALTSCHRANKPLANUNG

3.1. Definition und Fachbegriffe

Nachfolgend seien die im Zusammenhang mit der thermischen Schaltschrankauslegung oftmals verwendeten Fachbegriffe und Definitionen aufgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der wärmetechnischen Grundlagen im Schaltschrank ist im Kap. 4 zu finden.

Aktive Klimatisierung

Erfolgt die Schaltschrankklimatisierung mit Komponenten, welche Hilfsenergie zum Betreiben benötigen, so spricht man von *aktiver Klimatisierung*. Beispiele für aktive Klimatisierungskomponenten sind Kühl- (Klima)-Geräte oder Wärmeübertrager (Luft/Luft, Luft/Wasser). Aktive Klimatisierungskomponenten stellen einen Kühlwärmestrom $\dot{Q}_{\text{Kühl}}$ [K] zur Verfügung. Dadurch kann die Schaltschrankinnenluft auf Temperaturen unterhalb der Umgebungstemperatur gekühlt werden.

Freie Kühlung

Schaltschränke ohne aktive Klimatisierungskomponente werden an der Außenoberfläche mittels freier Konvektion gekühlt, man spricht von *freier Kühlung*. Bei dieser Betriebssituation stellt sich von unten nach oben im Schaltschrank eine Temperaturschichtung ein. Die kleinstmögliche Lufttemperatur im Schaltschrank entspricht der Umgebungstemperatur. Die entstehende Temperaturschichtung kann durch Einsatz eines **AirBLOWER** als geeignetes Luftverteilungsverfahren zerstört werden.

Freies Luftvolumen

Das Luftvolumen im freien Strömungsbereich befindet sich vor den Bauteilen und hinter dem LSC-Rahmen. Hier kann die Luft ungestört entweder zwangsumgewälzt oder auftriebsbedingt strömen. Neben dem *freien Luftvolumen* tritt im Schaltschrank das Luftvolumen zwischen den Bauteilen auf.

Hotspot

Durch enge Nachbarschaft von Bauteilen erhöhter Oberflächentemperatur und/oder Strömungstotgebiete im Schaltschrankinneren entstehen insbesondere zwischen den Bauteilen Luftzonen mit deutlich höheren lokalen Temperaturen als im ungestörten (freien) Luftvolumen weit vor den Bauteilen. Man spricht von Hotspot-Bereichen.

Kalorische Mitteltemperatur

Die kalorische Mitteltemperatur $\bar{\vartheta}$ [°C] liefert einen theoretischen Lufttemperaturvergleichswert. Dieser dient zur vereinfachten Beschreibung der thermischen Verhältnisse im Luftvolumen eines Schaltschranks, wenn dieses Luftvolumen sich aus einer Anzahl i unterschiedlich temperierter Teilluftvolumenbereiche V_i zusammensetzt:

$$\bar{\vartheta} = \frac{\sum_i (\rho_i c_{p,i} V_i \vartheta_i)}{(\rho c_p V)}$$

mit ρ [kg/m³] als Dichte und c_p [J/(kg K)] als spezifische isobare Wärmekapazität. Die kalorische Mitteltemperatur ist ungeeignet, um lokale Gegebenheiten wie z.B. Hotspots wiederzugeben.

Konvektion

Wärmetransport durch Übergang von z.B. warmen Bauteiloberflächen an kältere Schaltschranksinnen- oder Umgebungsluft heißt *Konvektion*. Der Wärmeübergang an ruhende Luft wird als freie Konvektion bezeichnet, Wärmeübergang an durch Gebläse erzeugte Luftströmungen heißt erzwungene Konvektion. Der Wärmestrom durch Konvektion \dot{Q}_K kann berechnet werden als

$$\dot{Q}_K = \alpha \cdot A \cdot (\vartheta_{Ob} - \vartheta_L)$$

mit α als Wärmeübergangskoeffizient, A als wärmeübertragende Oberfläche, ϑ_L als Luft- sowie ϑ_{Ob} als Oberflächentemperatur. Typische Werte für den Wärmeübergangskoeffizienten α sind (1 – 10) W/(m²K) für die Verhältnisse am Schaltschrank.

Verlustleistung

Stellt die Differenz zwischen Leistungsaufnahme und Leistungsabgabe eines Bauteiles dar. *Verlustleistung* entsteht im Bauteilinneren und wird als Wärmestrom vom Bauteil abgegeben, Formelzeichen \dot{Q}_V [W]. Bezieht man die Verlustleistung auf das Bauteilvolumen, so resultiert die volumetrische Verlustleistung $\dot{q} = \dot{Q}_V / V$ [W/m³]. Die volumetrische Verlustleistung ist ein Maß für die thermische Bauteilbelastung, d.h. je größer \dot{q} ist, desto höhere Bauteiltemperaturen stellen sich ein.

Wärmedurchgang

Beim Wärmetransport am Schaltschrank, bei dem über die Innenluft durch die Schrankwand an die Außenluft Wärme abgegeben wird, ist eine Kombination von Konvektion, Leitung und Strahlung zu berücksichtigen. Diese Kombination von einzelnen Wärmetransportmechanismen wird als *Wärmedurchgang* bezeichnet. Für den Wärmestrom infolge von Wärmedurchgang gilt:

$$\dot{Q}_D = k \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_2)$$

mit k [W/(m²K)] als Wärmedurchgangskoeffizient, A als wärmeübertragende Fläche sowie $(\vartheta_i - \vartheta_2)$ [K] als Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft.

Wärmeleitung

Treten in einem Festkörper, z.B. der Schaltschrankwand, Temperaturunterschiede auf, so resultiert ein Wärmefluss durch *Wärmeleitung*. Wärme fließt dabei vom Ort der hohen Temperatur zum Ort der niedrigen Temperatur. Für den Wärmetransport durch Wärmeleitung \dot{Q}_L gilt

$$\dot{Q}_L = \lambda \cdot \frac{A}{s} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

mit λ [W/(m K)] als Wärmeleitfähigkeit der Schaltschrankwand, A als Oberfläche der Schaltschrankwand, s [m] als Wanddicke, ϑ_i als Wandinnen- sowie ϑ_a als Wandaußentemperatur.

Wärmestrahlung

Wärmestrahlung stellt elektromagnetische Strahlung dar und ist vergleichbar mit Licht. Sie ist an keine materiellen Luftteilchen gebunden. Wie Konvektion und Leitung ist Strahlung ein Weg zur Übertragung thermischer Energie, im Vakuum der einzige. Wärmestrahlung tritt immer an/zwischen Festkörperoberflächen auf. Für die von einem Körper mit der thermodynamischen T [K] abgegebene Strahlungsleistung gilt

$$\dot{Q}_S = \varepsilon \cdot A \cdot C_S \cdot T^4$$

mit ε [-] als Emissionsvermögen für thermische Strahlung, A [m²] als Oberfläche des Körpers sowie $C_S = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴) als Stefan-Boltzmann-Konstante.

Wärmestrahlungsaustausch

Unterschiedlich temperierte Bauteiloberflächen senden Wärmestrahlung aus, absorbieren und reflektieren aber auch Wärmestrahlung. Man sagt, die Bauteile stehen im *Wärmestrahlungsaustausch*. Für den Netto-Wärmestrom $\dot{Q}_{S,12}$, der durch diesen Strahlungsaustausch zwischen zwei unterschiedlich temperierten Körpern 1 und 2 entsteht, gilt

$$\dot{Q}_{S,12} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A_1 \cdot \varphi_{12} \cdot C_S \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

mit ε_1 [-], ε_2 [-] als Emissionsvermögen der im Strahlungsaustausch stehenden Körper 1 und 2, A_1 [m²] als Oberfläche des Körpers 1, φ_{12} [-] als Strahlungsaustauschverhältnis sowie T_1 [K] bzw. T_2 [K] als thermodynamische Oberflächentemperatur des Körper 1 bzw. 2.

Wärmequelle / Wärmesenke

Als *Wärmequelle* / *Wärmesenke* wird ein Ort mit hoher / niedriger Temperatur bezeichnet. Während von einer Wärmequelle ein Wärmestrom entzogen wird, erfolgt eine Wärmeabgabe an die Wärmesenke. Im Fall der Schaltschrankklimatisierung stellt das Schaltschrankinnere die Wärmequelle dar. Als Wärmesenke fungiert die irdische Umgebung. Die Bezeichnung von Wärmeübertragern erfolgt durch deren Wärmequelle und -senke. So entzieht ein Luft/Wasser-Wärmeübertrager heißer Luft (Wärmequelle) Wärme und gibt diese an kälteres Wasser (Wärmesenke) wieder ab.

3.2 Planungsregeln zur effektiven Schaltschrankentwärmung

Die nachfolgenden 10 Regeln dienen der Schaltschrankplanung nach thermischen Gesichtspunkten.

Dabei wird auf den Einfluss von Umgebungstemperatur, Aufstellort, Bauteilplatzierung, Bauteilkompaktheit, geeigneten Luftverteilungsverfahren wie z.B. **AirBLOWER**, Luftkurzschlüssen, Zirkulationsströmungen, der Position von Kühl- (Klima-) Geräten, Strömungstotgebieten sowie Kabelführung und Kammdeckel auf das Schaltschrankklima eingegangen.

Fachbegriffe (z.B. *Konvektion*, *Wärmeleitung*, ...), deren Definition bzw. Erläuterung im Kapitel 3.1 gefunden werden kann, sind kursiv gekennzeichnet

Regel 1: Umgebungstemperatur



Für freie Kühlung, Umluftgebläse, Luft/Luft-Wärmeübertrager:
Tiefer als die Umgebungstemperatur geht es nicht im Schaltschrankinneren

Erfolgt die Schaltschrankklimatisierung mit Umgebungsluft als *Wärmesenke*, wie im Fall der freien Kühlung oder beim Betrieb mit Luft/Luft-Wärmeübertrager, so stellen sich immer höhere Lufttemperaturen im Schaltschrankinneren als die Umgebungstemperatur ein. Dies lässt sich anschaulich aus einem Kennliniendiagramm entsprechend Abb. 3.2.1 erkennen.

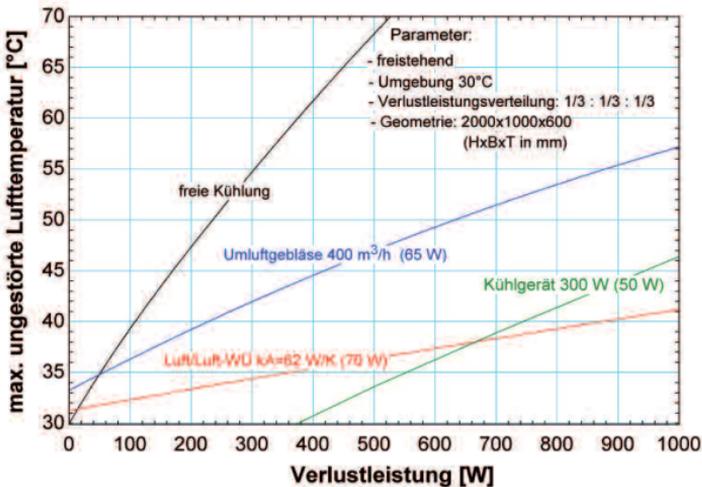


Abbildung. 3.2.1: Einfluss von Klimakomponenten auf die maximale Temperatur im freien Luftvolumen



Für Kühl- (Klima-) Geräte:
Tiefer als die Umgebungstemperatur im Schaltschrankinneren ist nicht energieeffizient

Ein Abkühlen der Schaltschrankinnentemperatur unterhalb der Umgebungstemperatur ist prinzipiell mit Kühl- (Klima-)Geräten oder Luft/Wasser-Wärmeübertrager möglich. Allerdings wird in diesem Fall – entgegen der ursprünglichen Absicht – über die äußeren Oberflächen Wärme durch *Konvektion* und *Strahlung* in den Schaltschrank eingetragen. Das Kühlgerät muss dann neben der *Verlustleistung* auch den Wärmeeintrag von außen kompensieren, wozu die Kühlleistung stark erhöht werden muss.



Temperaturänderungen in der Umgebung sind 1:1 im Schaltschrankinneren bemerkbar

Ändert sich die Umgebungstemperatur um eine Temperaturdifferenz ΔT , so bildet sich diese Temperaturänderung in gleichem Maße auf die thermischen Verhältnisse im Schaltschrankinneren ab.

Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die thermischen Verhältnisse im Schaltschrankinneren ist in Abb. 3.2.2 am Beispiel eines Luft/Luft-Wärmeübertragers gezeigt und lässt sich auf andere Klimatechniken sinngemäß übertragen.



Je tiefer die Umgebungstemperatur, desto geringer der Aufwand für Klimatisierung

Der Schaltschrankbetrieb bei tiefer Umgebungstemperatur ist energiesparender als bei hohen Außentemperaturen, da dann der Klimatisierungsaufwand zur Aufrechterhaltung eines akzeptablen Schaltschrankinnenklimas sinkt.

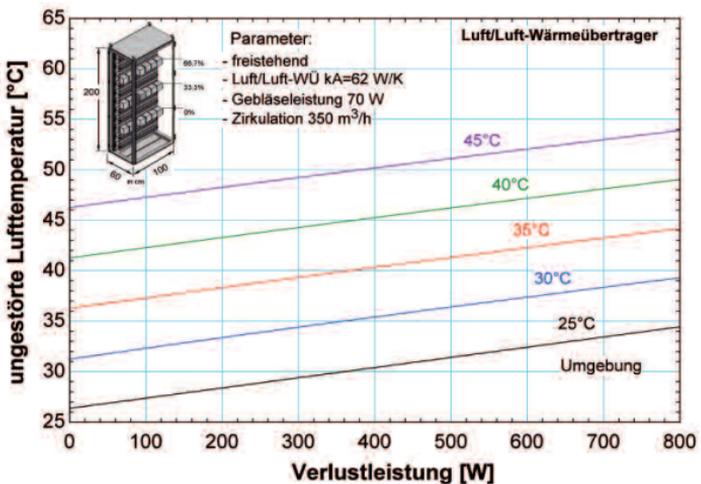


Abbildung. 3.2.2: Einfluss der Umgebungstemperatur auf die thermischen Verhältnisse im Schaltschrank am Beispiel des Betriebs mit Luft/Luft-Wärmeübertrager

Regel 2: Aufstellort



Schaltschranksaufstellung freistehend ist besser als Wandanbau

Die Art der Schaltschranksaufstellung beeinflusst die Wärmeabgabe über die Schaltschrankschalenoberflächen an die Umgebung. An den äußeren Oberflächen wird Wärme durch *Konvektion* und *Strahlung* transportiert. Wird die Wärmeabgabe an die Umgebung beeinträchtigt, so erhöht sich dadurch das Temperaturniveau der Schaltschrankschalenluft sowohl im *freien Strömungsbereich* als auch zwischen den Bauteilen im gleichen Maße.



Gleichgültig ob freistehend oder Wandanbau:

Einzelgehäuse ist besser als Anfangs-, Mittel- oder Endgehäuse Anfangs- und Endgehäuse sind besser als Mittelgehäuse

Abb. 3.2.3 zeigt die in der Praxis bedeutsamen Aufstellungsarten von Schaltschränken

- allseitig freistehend
- Einzelschrank Wandanbau
- Mittelschrank einer freistehenden Kombination
- Eckschrank einer freistehenden Kombination.

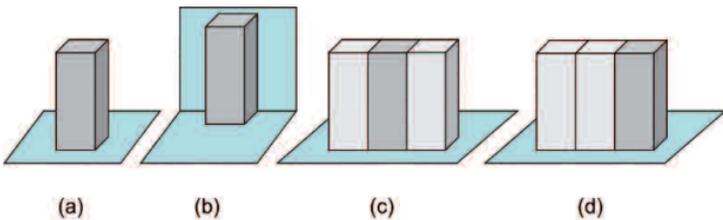


Abbildung 3.2.3: Aufstellungsarten, (a) freistehend, (b) Einzelschrank Wandanbau, (c) Mittelschrank einer freistehenden Kombination, (d) Eckschrank einer freistehenden Kombination

In Abb. 3.2.4 ist exemplarisch für die Aufstellungsarten (a) freistehender Einzelschrank, (b) Einzelschrank Wandanbau und (c) Mittelschrank einer freistehenden Kombination der Einfluss des Aufstellortes auf die maximale Temperatur im *freien Luftvolumen* gezeigt.

Die günstigsten thermischen Verhältnisse lassen sich erwartungsgemäß mit freistehenden Einzelschränken erzielen. Hier kann über alle freien Oberflächen Wärme durch *Konvektion* und *Strahlung* an die Umgebung abgegeben werden.



Falls Wandanbau: Möglichst kalte Stellwände

Beim wandangebauten Einzelschrank wird die Wärmeabgabe durch *Konvektion* an der Rückwand unterbunden. *Wärmeabstrahlung* an der Schaltschrankrückwand ist möglich, sofern die Stellwand kälter als die Rückwand ist. Die maximale Innenlufttemperatur steigt dann im Vergleich zur freistehenden Einzelaufstellung leicht, wenn auch nicht gravierend, an.

Beim freistehenden Mittelschrank einer Schaltschrankkombination wird sowohl *Konvektion* als auch *Strahlung* an den Seitenflächen unterbunden. Es ergeben sich wesentlich höhere Temperaturen als beim freistehenden und beim wandangebauten Einzelschrank.

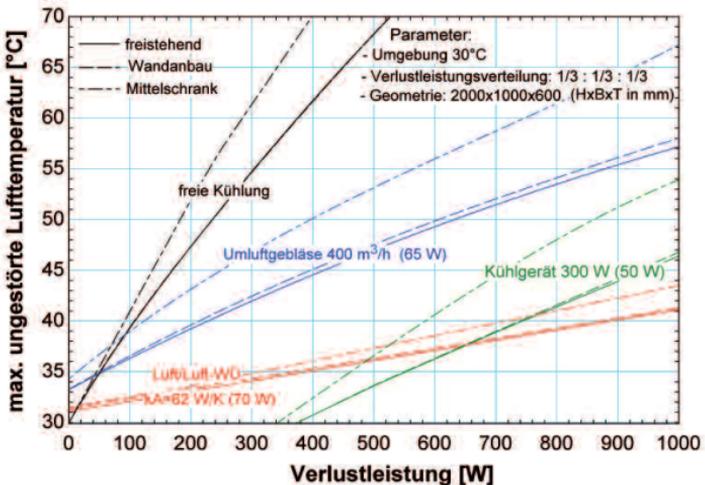


Abbildung.3.2.4.: Einfluss der Aufstellung auf die maximale Temperatur im *freien Luftvolumen*

Regel 3: Bauteilkompaktheit



Verringerung der Bauteilkompaktheit reduziert die Gefahr der Hotspot-Bildung

Die Bauteilkompaktheit beeinflusst die Bildung von *Hotspot*-Bereichen. Eine kompakte Bauteilanordnung entsteht bei kleinen Abständen der Montagestege des LSC-Rahmens sowie geringen seitlichen Abständen der Bauteile auf den Montagestegen.



Reduktion der Bauteilkompaktheit besonders wichtig beim Einsatz von *AirBLOWER* und bei freier Kühlung



Abbildung 3.2.5.: Kompakte (links) und weniger kompakte (rechts) Bauteilanordnung

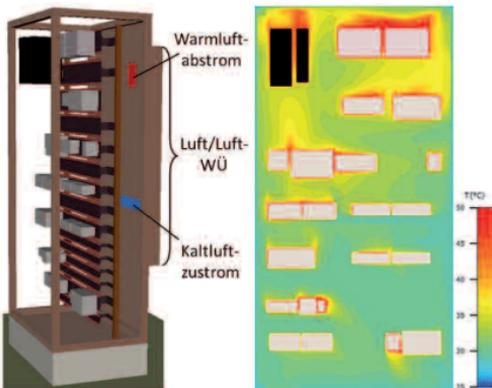
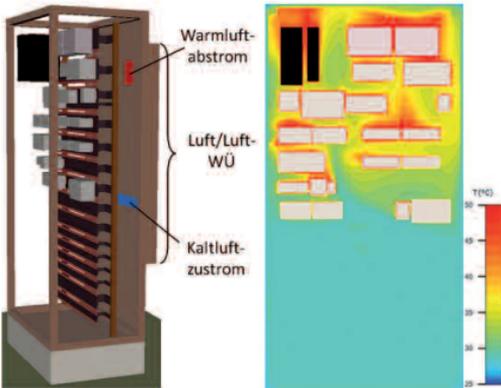


Abbildung 3.2.6: Einfluss der Bauteilkompaktheit auf die thermischen Verhältnisse (exemplarischer Schaltschrankbetrieb mit Rückwand-Wärmeübertrager)

Bei einer engen Nachbarschaft von Bauteilen kann der (Kalt-) Luftstrom nicht oder nur schlecht die Bereiche zwischen den Bauteilen durchströmen und die dort entstandene Verlustwärme abtransportieren. Werden die Bauteile zudem mit einer großen *volumetrischen Verlustleistung* beaufschlagt, wodurch hohe Bauteiloberflächentemperaturen resultieren, ist die Gefahr ausgeprägter, zusammenwachsender Luftbereiche mit unzulässig hohen Temperaturen gegeben.

Entzerrte und damit weniger kompakte Bauteilanordnungen bieten gegenüber einer kompakten Bauteilanordnung die Möglichkeit einer deutlich verbesserten Temperaturverteilung im Luftvolumen zwischen den Bauteilen (siehe Abb. 3.2.6).

Regel 4: Bauteilplatzierung

Für die in der Praxis häufig anzutreffende Klimatisierungsvariante mit Frontanbauklimagerät kann mit keiner praktikablen Maßnahme eine Zirkulationsströmung (vgl. Regel 7) um den LSC-Rahmen herum erzeugt werden. Daher ist für diesen Betriebsfall die korrekte Bauteilplatzierung besonders wichtig.



Korrekte Bauteilplatzierung ist bei Frontanbaugerät besonders wichtig

Generell ist darauf zu achten, dass keine großflächigen und sperrigen Bauteile das ungestörte Einströmen von Kaltluft ins Schaltschrankinnere sowie das Absaugen von Warmluft aus dem Schaltschrankinneren behindert

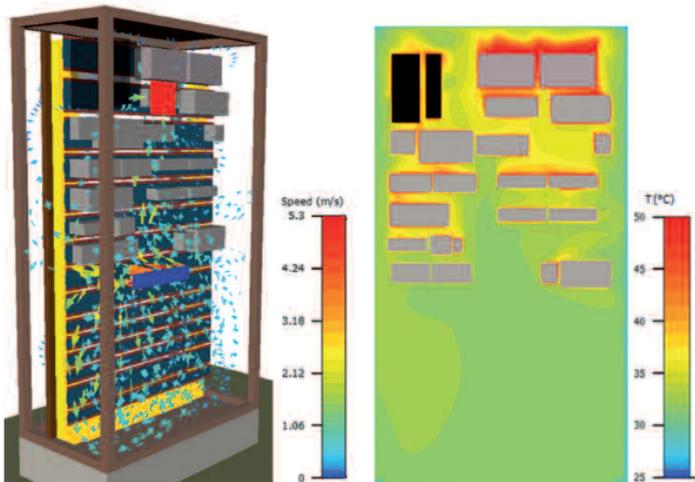


Abbildung 3.2.7: Schaltschrankklimatisierung mit Frontanbauklimagerät, links: Strömungsfeld, rechts: Temperaturfeld



Effektiv klimatisiert nur im Schaltschrankbereich zwischen Kaltluftzufuhr und Warmluftabsaugung

Beim Betrieb mit Frontanbauklimagerät zeigt sich, dass nur der zwischen Kaltluftauslass und Warmluftabsaugung liegende Schaltschrankbereich effektiv klimatisiert wird (vgl. Abb. 3.2.7). Eine Umströmung der Bauteile oberhalb der Warmluftabsaugung findet nicht oder nur eingeschränkt statt, weshalb in diesem Bereich – bei entsprechender hoher Bauteilverlustleistung – mit *Hotspotbildung* gerechnet werden muss.



Bauteile mit großer Verlustleistung in der Nähe der Kaltluftzufuhr platzieren

Da der Abstand zwischen Kaltluftauslass und Warmluftabsaugung für ein gegebenes Klimagerät nicht geändert werden kann, muss zur Vermeidung der *Hotspotbildung* die Bauteilanordnung verändert werden.



Die Erfolgsformel:

Passende Bauteilposition + Reduktion der Bauteilkompaktheit

Dazu können Bauteile mit großer *volumetrischer Verlustleistung* in der Nähe des Kaltluftauslasses sowie weniger kompakt untereinander angeordnet werden (vgl. Abb. 3.2.8). Gegenüber der in Abb. 3.2.7 (rechtes Bild) gezeigten Ausgangssituation resultiert durch diese Maßnahmen eine Absenkung der maximalen Lufttemperatur. Zudem wird die Bildung eines Hotspotbereiches verhindert.

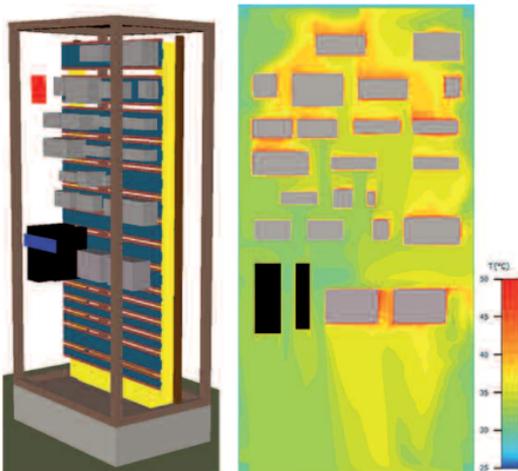


Abbildung 3.2.8.: Verbesserte Schaltschrankklimatisierung mit Frontanbauklimagerät durch geänderte Bauteilanordnung



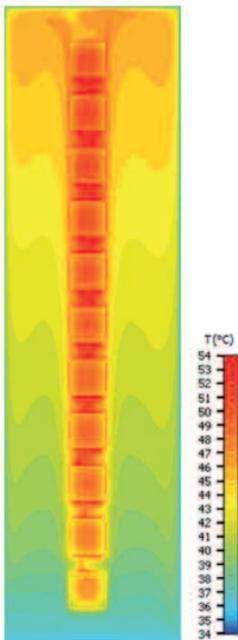
Bei freier Kühlung:

Gleichverteilung der Verlustleistung im gesamten Schaltschrank

Bei freier Kühlung sollte die im Schaltschrankinneren freierwerdende Verlustleistung möglichst homogen von unten nach oben verteilt werden. Bauteilverteilungen und Bauteilanordnungen, bei denen ein Großteil der Gesamtverlustleistung nur in einem lokal sehr begrenzten Schaltschrankbereich frei gesetzt wird, sind zu vermeiden.

Regel 5: Einsatz von *AirBLOWER* zur Vermeidung von Temperaturschichtung

Bei freier Kühlung können große Temperaturunterschiede von unten nach oben im *freien Strömungsvolumen* der Schaltschrankinnenluft entstehen. Abb. 3.2.9 zeigt exemplarisch eine durch *freie Kühlung* entstandene Temperaturschichtung im Schaltschrank.



Diese Schichtung kann durch eine Zwangsumwälzung der Schaltschrankluft mittels geeigneter Luftverteilungsverfahren, wie z.B. *AirBLOWER*, vermieden werden. Durch Vermischung unterschiedlich temperierter Luftbereiche sowie einer definierten Umströmung der Einbauten resultiert eine Vereinheitlichung der Lufttemperaturverteilung.

Abb. 3.2.10 zeigt beispielhaft die Vereinheitlichung einer durch freie Kühlung entstandenen Temperaturschichtung im Schaltschrank (links) durch den Einsatz z.B. eines *AirBLOWER* (unten).

Abbildung. 3.2.9: Temperaturschichtung bei *freier Kühlung*, Verlustleistung (300 W) homogen über 11 vertikale Bauteilreihen, 30 °C Umgebungstemperatur



Durch den *AirBLOWER* kann die maximale Lufttemperatur im Schaltschrank gesenkt werden.

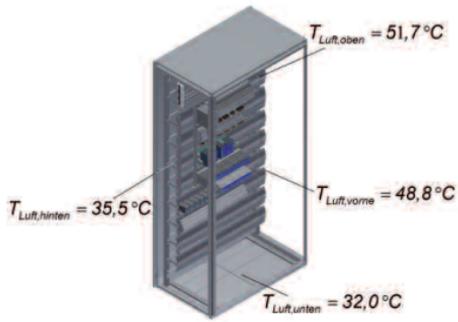
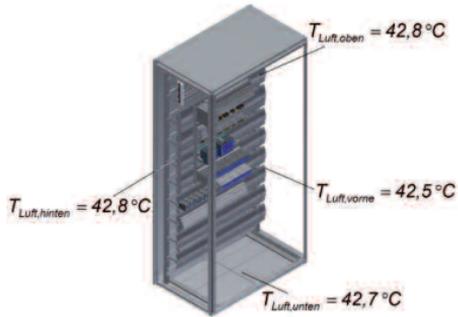


Abbildung. 3.2.10: Beispiel für mittlere Lufttemperaturen im freien Luftvolumen eines Schaltschrank (300 W) bei freier Kühlung (oben) und beim Betrieb mit z.B. **AirBLOWER** (unten)



Das sich einstellende Lufttemperaturniveau ist deutlich niedriger als die maximale Lufttemperatur bei freier Kühlung, obgleich bei dieser Betriebsart neben der Verlustleistung der Bauteile zusätzlich die Antriebsleistung für den **AirBLOWER** in den Schaltschrank eingebracht wird.

Regel 6: Luftkurzschluss

Bei ungünstiger Einbaulage einer aktiven Klimakomponente (Wärmeübertrager, Kühl- (Klima-) Gerät) wird ein Teil der in den Schaltschrank eingebrachten Kaltluft direkt wieder abgesaugt – es kommt zu einem Kurzschlussstrom der Kaltluft.



Vermeidung von Luftkurzschlüssen steigert Energieeffizienz

Abb. 3.2.11. zeigt eine typische Anordnung von Kaltluftauslässen um eine zentrale Warmluftabsaugöffnung bei einem Dachaufbaukühlgerät. Befinden sich Kaltluftzustrom und Warmluftabsaugung lokal eng beieinander und ist die Ausblasgeschwindigkeit der Kaltluft moderat, so kann ein Kurzschlussstrom in aller Regel nicht vermieden werden. Abhilfe verspricht hier der Einbau strömungsführender Einbauten, wie z.B. Bleche, zwischen Kalt- und Warmluft.



Die Wirksamkeit von strömungsführenden Einbauten hängt von Ausführungsgüte ab

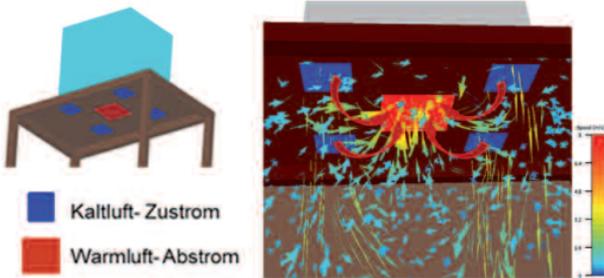


Abbildung 3.2.11: Luftkurzschluss am Kaltluftaustritt eines Dachaufbauklimagerätes

Luftkurzschlussströme können ebenfalls bei der Verwendung von geeigneten Luftverteilungsverfahren wie **AirBLOWER** entstehen. Abb. 3.2.12 zeigt die Existenz eines Luftkurzschlusses beim Erzeugen einer Zwangsumwälzung mit **AirBLOWER**.



Erkennen von Betriebsfehlern im Voraus:

Berechnung der thermofluiddynamischen Vorgänge im Schaltschrankinneren mittels CFD

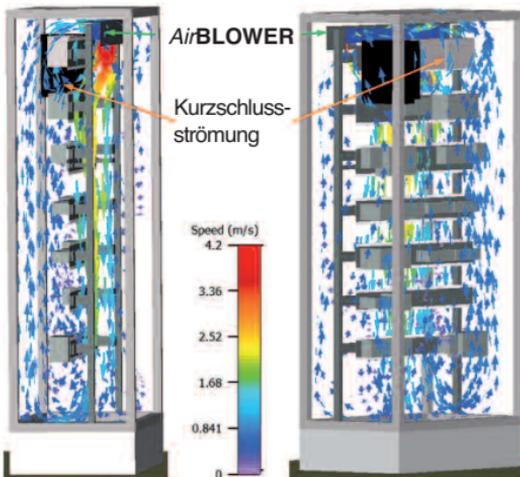


Abbildung 3.2.12: Luftkurzschluss am **AirBLOWER**

Durch den Einbau eines strömungsführenden Bleches am LSC-Rahmen zwischen der ersten und zweiten Bauteilreihe kann dieser Luftkurzschluss unterbunden werden. Bei genügend geringem Abstand der Montagestege des LSC-Rahmens genügt ggf. das Anbringen eines Kammdeckels.

Regel 7: Zirkulationsströmung



Strömung um Verdrahtungssystem und Bauteile reduziert Hotspot-Bildung

Für eine effektive Bauteilenthitzung ist die Umströmung der wärmeabgebenden Bauteile mit Kaltluft erforderlich. Strömungstotgebiete in Bauteilnähe sind zu vermeiden.

Dazu ist es sinnvoll zwangsumgewälzte Schaltschrankinnenluft so zu führen, dass eine Zirkulationsströmung um den LSC-Rahmen entsteht. Z.B kann Kaltluft im Spalt zwischen Montagestege und Rückwand (Verkabelungsebene) nach unten, um den LSC-Rahmen herum und dann an der Frontseite der Bauteile (Montageebene) wieder nach oben strömen (vgl. Abb. 3.2.13).

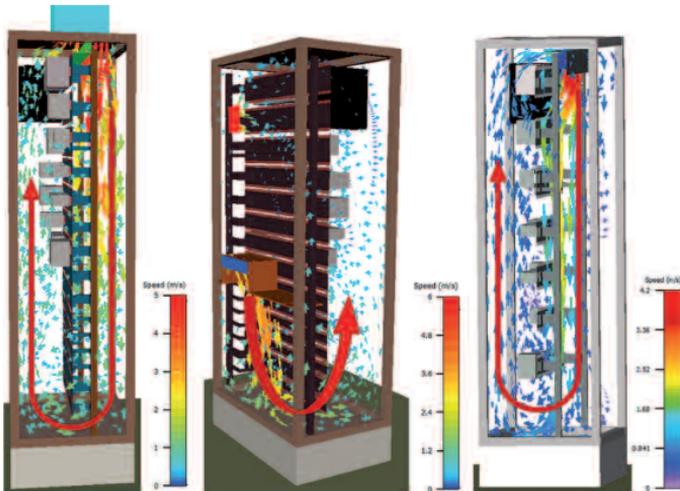


Abbildung 3.2.13: Zirkulationsströmung beim Betrieb mit Dachaufbauklimagerät (links), Luft/Luft-Wärmeübertrager (Mitte) und AirBLOWER (rechts)



Mit möglichst einfachen Maßnahmen für Zirkulationsströmung sorgen

Dachaufbauklimageräte sind besonders geeignet, um eine Zirkulationsströmung um den LSC-Rahmen zu erzeugen. Dazu sind Kaltluftauslässe und Warmluftabsaugung des Klimagerätes entsprechend der gewünschten Zirkulationsrichtung über der Montageebene und der Verkabelungsebene anzuordnen. Auf eine Trennung zwischen Kaltluftzustrom und der Warmluftabsaugung ist zu achten (siehe Abb. 3.2.14).



Wirksamkeit von strömungsführenden Einbauten hängt von deren Ausführungsgüte ab

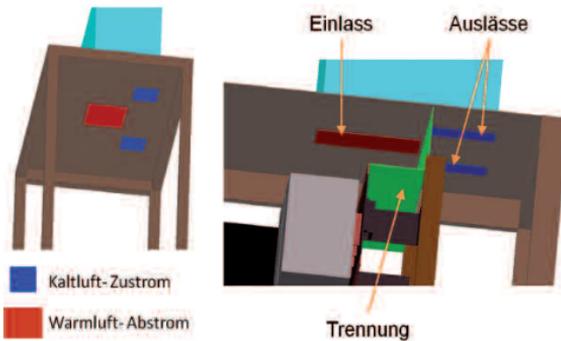


Abbildung 3.2.14:
Aufbau eines Dachaufbauklimagerätes zur Erzeugung einer Zirkulationsströmung

Bei einer vorhandenen Zirkulationsströmung um den LSC-Rahmen werden die wärmeabgebenden Bauteile effektiv umströmt und somit besser gekühlt. Es treten weniger strömungsberuhigte Luftzonen auf und die Bildung von *Hotspot*-Bereichen wird deutlich reduziert (vgl. Abb. 3.2.15) im Vergleich zum Zustand ohne definierte Zirkulationsströmung.

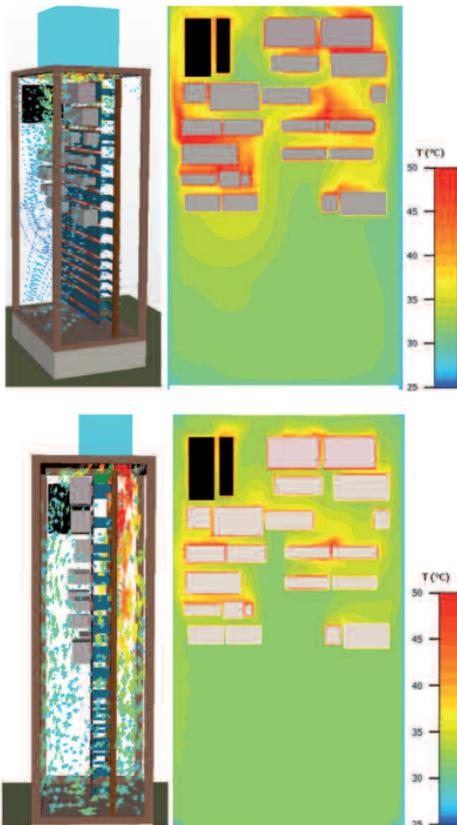


Abbildung 3.2.15:
Temperaturverteilung zwischen den Bauteilen (grau) beim Betrieb mit Dachaufbauklimagerät, oben: ohne Zirkulationsströmung, unten: mit Zirkulationsströmung

Steht nicht die gesamte Schaltschrankhöhe für die Zirkulationsströmung zur Verfügung, z.B. durch Kabelzufuhr von außen im unteren Schaltschrankbereich, so kann zur Aufrechterhaltung der Zirkulationsströmung ein Trennblech als Strömungsführung bzw. Umlenkung in geeigneter Schaltschrankhöhe im Inneren eingezogen werden (vgl. Abb. 3.2.16).

Dazu ist ein Montagesteg zu entfernen und der Stegabstand muss in diesem Bereich vergrößert werden.

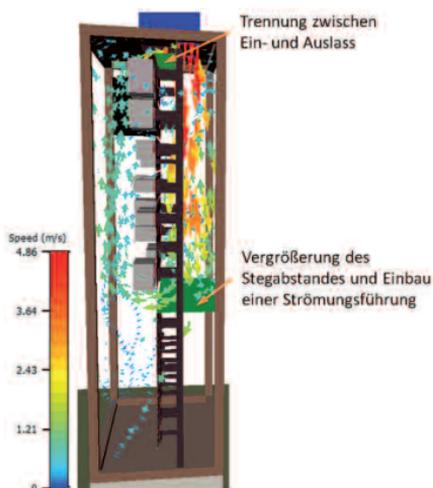


Abbildung 3.2.16: Erzeugung einer Zirkulationsströmung mit Dachaufbauklimagerät durch Einbauten

Durch diese Maßnahme kann die Luftströmung aus dem hinteren Strömungsbereich zwischen LSC-Rahmen und Schaltschrankwand nach vorne in den Bauteilbereich umgelenkt werden. Das Trennblech sollte von der Rückwand mindestens bis zur halben Schranktiefe vorgesehen werden und dabei den halben Schaltschrankquerschnitt abdecken. Besser ist eine Abdeckung des gesamten Schaltschrankquerschnitts.



Dachkühlgeräte mit Kaltluftauslass vor den Bauteilen wirken ähnlich wie Frontanbaukühlgeräte: Luft zirkuliert vor den Bauteilen

Beim Einsatz von Dachkühlgeräten, deren Kaltluftauslässe sich vor dem LSC-Rahmen in der Montageebene befinden und bei denen die Warmluft direkt oberhalb des LSC-Rahmens abgesaugt wird, stellt sich im Luftraum vor den Bauteilen eine die Schaltschrankbreite und -höhe ausfüllende Luftströmung ein. Für eine effektive Bauteilklimatisierung ist es erforderlich, dass dann der Kaltluftstrom über die gesamte Schaltschrankhöhe bis zum Schaltschrankboden die verbauten Bauteile überströmt.

Dazu muss die Kaltluft mit hoher Strömungsgeschwindigkeit in den Schaltschrank eintreten. Das Positionieren von Bauteilen mit hoher *volumetrischer Verlustleistung* im oberen Bereich des LSC-Rahmens (Regel 4) und somit nahe den Kaltluftauslässen ist zudem zweckmäßig.

Unter Berücksichtigung der genannten Merkmale können Dachkühlgeräte mit Kaltluftauslässen vor den Bauteilen ähnlich gute Klimatisierungsergebnisse wie Frontanbauklimageräte liefern.

Regel 8: Position des Kühl- (Klima-) Gerätes



Für Einzelgehäuse:

Dachaufbau und Frontanbau sind besser als Seitenanbau

Die Anordnung des Kaltfluterzeugers bietet dem Konstrukteur einen gewissen Entscheidungsfreiraum bei der Konzeption einer Schaltschrankklimatisierung.

Dachklimageräte sind zweckmäßig, wenn deren Kaltluftauslässe und die Warmluftabsaugung so angeordnet sind, dass eine Zirkulationsströmung (Regel 7) z.B. von hinten nach vorne um den LSC-Rahmen herum erzeugt werden kann.

Mit *Frontanbauklimageräten* sind ebenfalls gute thermische Verhältnisse im Schaltschrankinneren erzielbar, wenn dabei auf die Bauteilanordnung (Regel 4) geachtet wird. Gleiches gilt für an der Front angebaute Wärmeübertrager.

Vergleicht man den Schaltschrankbetrieb mit Frontanbau- und Seitenanbauklimagerät bei identischer Kühlleistung, identischer Bauteilanordnung und identischer Anordnung von Kaltluftauslass und Warmluftabsaugung (vgl. Abb. 3.2.17), so zeigt sich ein besseres Klimatisierungsergebnis beim Frontanbaugerät gegenüber dem Seitenanbaugerät. Der Frontanbau ist somit stets einem Seitenanbau vorzuziehen, sofern die Bauteilkompaktheit (Regel 3) nicht geändert werden kann.

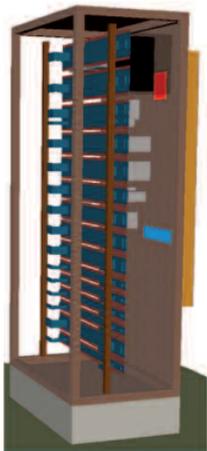
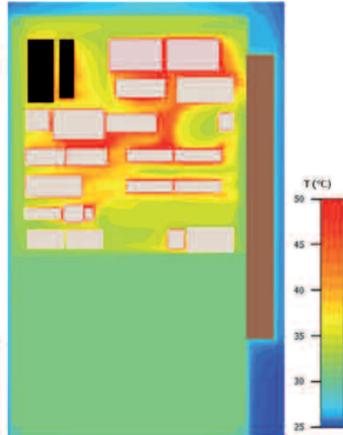
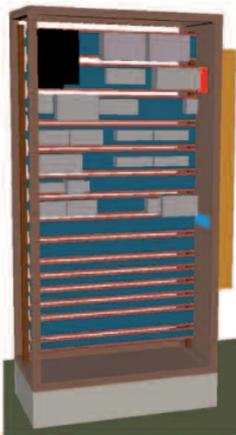


Abbildung 3.2.17:
Vergleich der
thermischen
Verhältnisse
zwischen den
Bauteilen (grau)
beim Einsatz von
Frontanbau- (oben)
und Seitenanbau-
(unten) Klimagerät



Eine ausreichende Bauteilkühlung ohne Ausbildung von Hotspots wird beim Seitenanbau nur dann erreicht, wenn die Kühlleistung des Seitenanbaukaltluftherzeugers im Vergleich zum Frontanbau oder Dachaufbau unverhältnismäßig groß bemessen wird. Diese Vorgehensweise ist im Sinne einer energieeffizienten Schaltschrankklimatisierung nicht empfehlenswert.

Bei Kaltluftherzeugern an der Rückwand des Schaltschranks kann mittels eines einfachen Trennbleches eine Zirkulationsströmung um die Bauteile erzeugt werden.



Bei Kaltluftherzeugern an der Rückwand:

Energieeffiziente Klimatisierung mit LSC durch Zonierung

Der Schaltschrank wird dadurch in unterschiedliche Luftzonen unterteilt (Zonierung). Einzelheiten dazu sind im Kap. 3.3, Beispiel 1 zu finden.

Regel 9: Strömungstotgebiete



Einsatz von Luftleitblechen erfordert Zirkulationsströmung um LSC-Rahmen

Schaltschrankaufbauten mit Zirkulationströmung um den LSC-Rahmen herum (Regel 7), ermöglichen den Einsatz von Luftleitbleche (**AirBLADES**). Ragen diese in die abwärts gerichtete Kaltluft Hauptströmung hinter dem LSC-Rahmen hinein, so können Teilströme kalter Luft von hinten nach vorne in thermisch kritische Bauteilzwischenräume zur Vermeidung von Hotspots geleitet werden.

AirBLADES werden im 50 mm Raster anstelle eines Kabelkammes von vorne auf den Montagestege des LSC-Rahmens gesetzt und ragen dann in den freien Luftspalt hinter der Montageebene hinein. Um größere Bauteilzwischenräume zu enthitzen, können mehrere AirBLADES nebeneinander angeordnet werden.

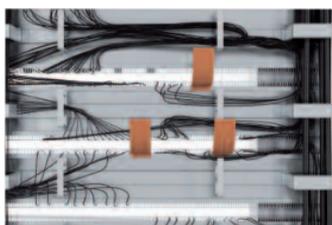


Abbildung 3.2.18: AirBLADES zur Luftführung



Regel 10: Kabelführung und Kammdeckel



Bei Verkabelung wie empfohlen:

Keine negativen Auswirkungen der Verkabelung auf das Innenklima bei Dachkühl-, Frontanbau- und Rückwandanbaugeräten

In Abb. 3.2.19 ist die bei Verwendung eines LSC-Rahmens empfohlene Verkabelungsart (gelb) gezeigt. Dabei wird die Verkabelung hinter den Montagestege seitlich nach unten geführt. Die Verkabelungsebene hinter den Montagestege weist eine Tiefe von (2-5) cm auf.

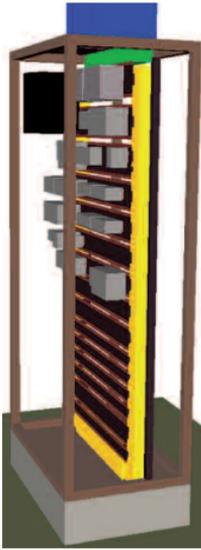


Abbildung 3.2.19: Kabelführung

Für den Betrieb mit Dachklimagerät, Frontanbauklimagerät und rückwandangebauten Kaltluftherzeuger sind bei empfohlener Verkabelungsart keine negativen Auswirkungen auf das Schaltschrankinnenluftklima zu befürchten.



Geringer Einfluss der Kammdeckel

Die Verwendung von Kammdeckeln hat keine Auswirkungen bei freier Kühlung und nur eine untergeordnete Rolle bei zwangsumgewälzter gekühlter oder ungekühlter Umluft auf die thermischen Verhältnisse im Schaltschrank.

Sollte die Bauteilinstallation es zulassen, so wird der Schaltschrankbetrieb ohne Kammdeckel empfohlen. Dabei ist darauf zu achten, dass trotz des Entfernens der Kammdeckel alle Kabel im Kabelkamm verbleiben.

3.3 Praxisbeispiele

Anhand von drei Beispielen aus der Praxis soll nachfolgend aufgezeigt werden, wie durch Anwendung der Regeln 1 bis 10 eine Verbesserung der thermischen Verhältnisse im Schaltschrank erzielt werden kann.

3.3.1 Beispiel 1: Schaltschrank mit Luft/Luft-Wärmeübertrager an der Rückwand

Beschreibung:

In einem Schaltschrank für einen Fertigungsprozess mit den

äußeren Abmessungen HxBxT (in mm) 2000x1000x600 werden im stationären Betrieb 700 W Verlustleistung freigesetzt. Die wärmeabgebenden Bauteile sind auf den Montagestegen 1 bis 7 (von oben) des LSC-Rahmens angeordnet. Der LSC-Rahmen besteht aus insgesamt 15 Montagestegen.

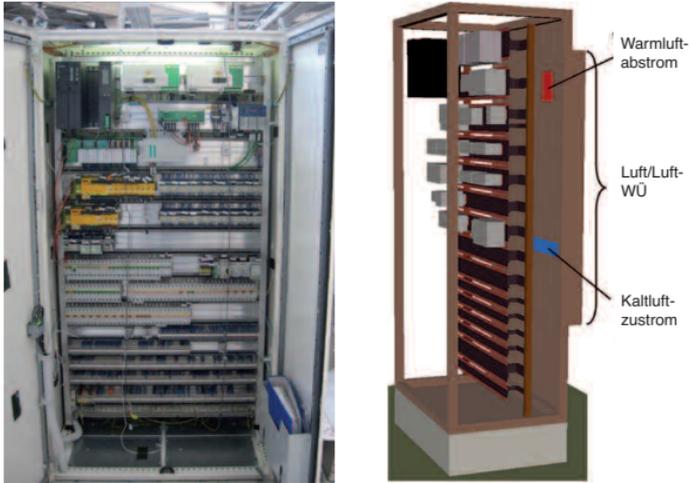


Abbildung 3.3.1: Schaltschrankaufbau Beispiel 1

Aus Wartungs- und Platzgründen ist der zur Klimatisierung eingesetzte Luft-Luft-Wärmeübertrager mit einem Wärmeübertragungsvermögen von 62 W/K an der Rückseite des Schaltschranks angebracht. Zur Erzeugung von Luftströmung im Innenluftkreislauf und im Umgebungsluftkreislauf wird je ein Gebläse mit 70 W Antriebsleistung verwendet. Die Umwälzung der Schaltschrankinnenluft erfolgt mit einem Volumenstrom von 350 m³/h. Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C.

Analyse / Bewertung

Die Nachrechnung der Temperatur- und Strömungsverhältnisse im Schaltschrank für die beschriebene Betriebssituation ist in Abb. 3.3.2 gezeigt.

Luftkurzschluss (Verletzung der Regel 6)

Es zeigt sich, dass die normal zum LSC-Rahmen ausströmende Kaltluft (blauer Austritt) auf die Rückseite der Montagesteg des LSC-Rahmens prallt und sich dann in zwei Teilströme aufteilt. Unterhalb des Luftaustritts bildet sich eine Zirkulationsströmung. Oberhalb des Luftaustritts strömt Kaltluft im Kurzschluss zu einem großen Teil direkt zur Warmluftabsaugung (roter Querschnitt) und ist für die Klimatisierung des Schaltschrankinneren unwirksam.

Keine Luftzirkulation um Bauteile (Verletzung der Regel 7)

Die vom Wärmeübertrager bereitgestellte Kaltluft strömt dominierend hinter dem LSC-Rahmen und nicht über und zwischen den wärmeabgebenden Bauteilen. Es zeigen sich ausgeprägte Wärmetönungen im Luftvolumen um die Bauteile.

Für eine ausreichende Klimatisierung muss der Wärmeübertrager überdimensioniert (großes Wärmeübertragungsvermögen) werden, damit im Schaltschrankbereich vor und um die Bauteile herum eine genügend tiefe Temperatur für eine ausreichende Bauteilkühlung herrscht.

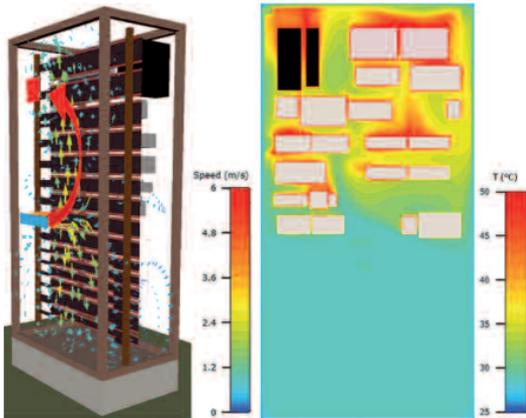


Abbildung 3.3.2: Strömungs- und Temperaturfeld für Beispiel 1

Es existiert für Beispiel 1 ein hohes Energieeinsparpotential bei der Schaltschrankklimatisierung durch das Beheben von Betriebsfehlern.

Das Erkennen von Betriebsfehlern wird heutzutage erleichtert durch den Einsatz von CFD-Programmen zur Analyse der thermofluidynamischen Vorgänge im Schaltschrankinneren.

Verbesserungen

Für eine Verbesserung der Betriebssituation sind die Regeln 6 und 7 zu berücksichtigen.

Zur einfachen Erzeugung einer Luftzirkulation um den LSC-Rahmen und die Bauteile kann ein Trennblech über die gesamte Schaltschranktiefe und Schaltschrankbreite kurz unterhalb des Auslassquerschnitts der Kaltluft eingebaut werden, vgl. Abb. 3.3.3. Ein eventuell auf Höhe des Kaltluftauslasses befindlicher Montagegesteg ist zu entfernen.

Kaltluft strömt dann vom Auslassquerschnitt des Wärmeübertragers nach vorne, über- und umströmt in der oberen Schaltschrankzone die Bauteile, wobei die entstandene Verlustleistung abgeführt wird. Erwärmte Luft strömt anschließend zur Warmluftabsaugung der Klimakomponente an der Rückwand.



Abbildung 3.3.3: Schaltschrank-Zonierung

Zonierung

Der Schaltschrank wird durch die Maßnahme in zwei strömungstechnisch entkoppelte Luftzonen unterteilt (Zonierung), mit ruhender Luft unterhalb und zirkulierender Luft oberhalb der Trennebene.

In der Schaltschrankzone mit ruhender Luft können Bauteile mit geringer Verlustleistung z.B. Klemmen sowie die Kabelzuführung von außen platziert werden. In der oberen Zone sind Bauteile mit Verlustleistung anzuordnen.

Durch die sich einstellende Zirkulationsströmung um den LSC-Rahmen werden die wärmeabgebenden Bauteile effektiv umströmt und somit besser gekühlt. Auf Grund dessen treten nur wenige strömungsberuhigte Luftzonen auf und die Bildung von Hotspot-Bereichen wird deutlich reduziert. Kurzschlusskaltluftströme werden trotz der Einfachheit der Maßnahme überwiegend vermieden.

3.3.2 Beispiel 2: Schaltschrankklimatisierung mit freier Kühlung

Beschreibung

Ein freistehender Einzelschaltschrank wird mit freier Kühlung, d.h. ohne aktive Klimatisierungskomponente, klimatisiert. Im Verlauf eines heißen Sommers kommt es zu Schaltschrankausfällen infolge lokaler Bauteilüberhitzungen. Bei moderaten Umgebungstemperaturen treten keine Bauteilausfälle auf.

Analyse / Bewertung

Umgebungseinfluss ist bedeutsam beim Betrieb im thermischen Grenzbereich (Regel 1)

Der Schaltschrank wird mit der bei freier Kühlung gerade noch möglichen maximalen Verlustleistung betrieben. Erhöht sich die Umgebungstemperatur, so steigt in gleichem Maße die Innenlufttemperatur an – im vorliegenden Fall über die maximal zulässige Grenztemperatur, wodurch es zu lokalen Bauteilüberhitzungen kommt.

Überprüfenswert:

Kann die Bauteilkompaktheit und Anordnung angepasst werden (Regel 3 und 4)?

Da beim Betrieb mit freier Kühlung Wärme an sehr begrenzte Luftvolumen um die Bauteile herum abgegeben wird, können hohe lokale Temperaturen in diesen kleinen Luftmengen entstehen. Somit ist die Bauteilplatzierung in Kombination mit der Bauteilkompaktheit bei freier Kühlung bedeutsam.

Einsatz eines Gebläses prüfen (Regel 5)

Der Einsatz eines geeigneten Luftverteilungsverfahrens wie **AirBLOWER** kann dafür sorgen, dass lokale Wärmetönungen durch Vermischung mit der restlichen kälteren Innenluft aufgelöst bzw. gemindert werden.

Verbesserungen

Es ist in Erfahrung zu bringen, wo die Bauteile mit großer Verlustleistung montiert sind. Neben Aufbaupläne des Schaltschranks können dazu ergänzend bzw. alternativ Infrarot-Thermographieaufnahmen wertvolle Informationen liefern.

Befinden sich die thermisch hoch belasteten Bauteile überwiegend in einem lokal begrenzten Schaltschrankbereich, so ist eine Bauteilumordnung und Neuplatzierung vorzunehmen. Diese sollte so

erfolgen, dass möglichst eine Gleichverteilung der Verlustleistung im zur Verfügung stehenden Schaltschrankvolumen entsteht.

Als Sofortmaßnahme – auch ohne aufwändige Bauteilversetzung - kann mittels eines geeigneten Luftverteilungsverfahrens wie **AirBLOWER** das Mikroklima um die thermisch kritischen Bauteile herum beeinflusst werden. Durch Anblasen mit Schaltschrankinnenluft kann für eine Senkung der unmittelbaren Lufttemperatur und eine verbesserte Wärmeabfuhr gesorgt werden. Das dadurch erzielbare Temperaturniveau um die Bauteile herum liegt ca. (15-20) K oberhalb der Umgebungstemperatur und hängt vom Volumenstrom des Gebläses sowie der volumetrischen Verlustleistung der Bauteile ab.

3.3.3 Beispiel 3: Klimatisierung einer Schaltschrankkombination

Beschreibung

Eine Schaltschrankkombination besteht aus drei Schrankteilen I – III (vgl. Abb. 3.3.4). Um einen Luftaustausch zwischen den Schaltschrankteilen zu ermöglichen, werden keine Trennwände eingesetzt. Die Schrankteile sind ungleichmäßig mit verlustleistungsbefahten Bauteilen bestückt. Als Verdrahtungssystem wird ein LSC-Rahmen verwendet. Die Klimatisierung erfolgt mit einem an der Seite des Schrankteils III angebrachten Klimagerät.

Im Betrieb der Schaltschrankkombination stellt man fest, dass thermische Probleme im Schrankteil I auftreten, wodurch es zum Bauteilausfall kommt.

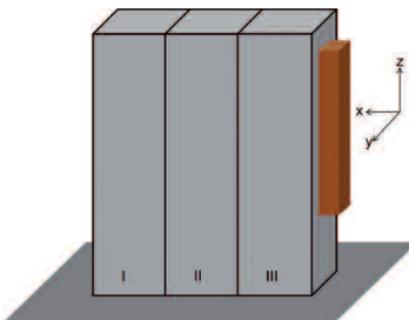


Abbildung 3.3.4: Schaltschrankkombination mit Seitenanbau-Klimagerät (braun), Beispiel 3

Analyse / Bewertung

Bauteilplatzierung ungenügend (Verletzung von Regel 4)

Trotz Verwendung eines Seitenanbau-Klimagerätes, bei dem Kaltluft in x-Richtung ausgeblasen wird, kann die beträchtliche Breite der Schaltschrankkombination (3 - 4 m) nicht ausreichend mit Kaltluft versorgt werden. Der Schaltschrankbereich I wird schlecht klimatisiert. Diesem Umstand muss durch eine Anpassung der Bauteilanordnung kombiniert mit der Reduktion der Bauteilkompaktheit Rechnung getragen werden.

Weniger kompakte Bauteilanordnung (Anwendung der Regel 3)

Zirkulationsströmung nicht machbar (Regel 7 nicht praktikabel)

Die Beeinflussung der internen Strömungsverhältnisse (Regel 7) durch Einbauten ist im vorliegenden Fall aufwändig und teuer und somit nicht praktikabel.

Verbesserungen

Für eine Verbesserung der Betriebssituation ist die Regel 4 (Bauteilplatzierung) in Kombination mit Regel 3 (Bauteilkompaktheit) anzuwenden. Es wird empfohlen die Bauteile mit großer Heizleistung im Schrankteil III, wenn möglich in der Nähe des Kaltluftauslasses zu platzieren. Zudem ist die Bauteilkompaktheit in allen drei Schrankteilen zu reduzieren.

4 WÄRMETECHNISCHE GRUNDLAGEN IM SCHALTSCHRANK

4.1 Wärmemanagement

Exemplarisch sei ein Schaltschrank entsprechend Abb. 4.1.1 betrachtet. Auf dem Dach ist eine aktive Klimakomponente (1) (z.B. Klimagerät) verbaut, welche eine Kühlleistung $\dot{Q}_{Kühl}$ bereitstellt. Mit Hilfe des Verdrahtungssystems (2) werden die elektronischen Bauelemente (3) im Schaltschrank montiert.

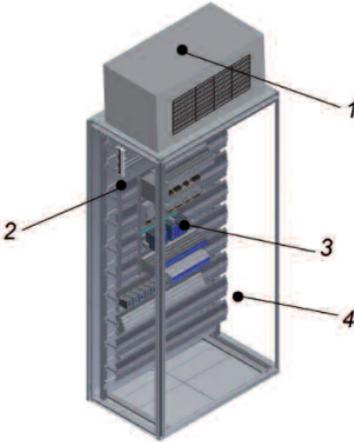


Abbildung 4.1.1: Schaltschrank

In den Bauteilen entsteht beim Betrieb Verlustleistung \dot{Q}_V , wodurch sich die Bauteile erwärmen. Von den warmen Bauteiloberflächen wird Wärme konvektiv an die kältere Schaltschrankinnenluft (4) und von dieser wiederum an die innere Oberfläche der Schaltschrankwand übertragen. Die Innenluft erwärmt sich bei diesem Vorgang. Der Wärmestrom durch Konvektion \dot{Q}_K tritt beim Wärmetransport von Luft zu Festkörperoberfläche (oder umgekehrt) auf:

$$\dot{Q}_K = \alpha \cdot A \cdot (\vartheta_{Ob} - \vartheta_L) \quad (1)$$

mit α , A , ϑ_{Ob} , ϑ_L als Wärmeübergangskoeffizient, Oberfläche, Oberflächentemperatur und Lufttemperatur. Die Temperaturen sind hierbei in [°C] einzusetzen.

Zusätzlich erfährt die Schaltschrankinnenoberfläche einen Wärmeeintrag von umliegenden wärmeren Oberflächen durch Wärmestrahlung \dot{Q}_S . Wärmestrahlung tritt immer an/zwischen Festkörperoberflächen auf.

Für den Wärmestrom durch Strahlungsaustausch $\dot{Q}_{S,12}$ zwischen zwei unterschiedlich temperierten Körpern 1 und 2 gilt

$$\dot{Q}_{S,12} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A_1 \cdot \varphi_{12} \cdot C_S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

mit $\varepsilon_1, \varepsilon_2, A_1, \varphi_{12}, C_S, T_1, T_2$, als Emissionsvermögen Körper 1 und 2, Oberfläche Körper 1, Strahlungsaustauschverhältnis zwischen Körper 1 und 2, Stefan-Boltzmann-Konstante [$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$], thermodynamische Temperatur Körper 1 und 2. Typische Werte für das Emissionsvermögen einiger im Schaltschrank verwendeter Oberflächen sind in der Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Emissionsvermögen für die Gesamtstrahlung technischer Oberflächen

Oberfläche	ε [-]
Aluminium oxidiert	0,10
Stahlblech oxidiert	0,79
Eisenblech angerostet	0,61
Lack weiß	0,92
Lack matt schwarz	0,97
Kunststoff (PPE, PS)	0,90

Durch den auf der Schaltschrankinnenoberfläche auftreffenden Gesamtwärmestrom, verursacht durch Konvektion und Strahlung, erhöht sich die Temperatur der Schaltschrankinnenoberfläche im Vergleich zur Schaltschrankaußenoberfläche. Dadurch wird Wärme durch die Schaltschrankwand geleitet. Für den Wärmetransport durch Wärmeleitung \dot{Q}_L gilt

$$\dot{Q}_L = \frac{\lambda}{s} A \cdot [\vartheta_i - \vartheta_a] \quad (3)$$

mit $\lambda, A, s, \vartheta_i, \vartheta_a$ als Wärmeleitfähigkeit der Schaltschrankwand, Oberfläche der Schaltschrankwand, Wanddicke, Wandinnen- sowie Wandaußentemperatur. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahlblech, wie es für Schaltschrankwände verwendet wird, beträgt $\lambda = 57 \text{ W}/(\text{m K})$.

Der durch Wärmeleitung an die Schaltschrankaußenoberfläche transportierte Gesamtwärmestrom wird abschließend, ebenfalls durch Konvektion und Strahlung, an die Umgebung abgegeben. Aktuelle Untersuchungen zufolge beträgt das Verhältnis der Wärmeabgabe durch Strahlung zur Wärmeabgabe durch Konvektion an der Schaltschrankaußenseite ca. 2 zu 1.

Übersteigt die Verlustleitung \dot{Q}_V einen bestimmten Grenzwert, so reicht der durch Konvektion und Strahlung an der Schaltschrankaußenseite abgegebene Wärmestrom nicht mehr aus, um die thermischen Verhältnisse im Schaltschrankinneren ausreichend niedrig zu halten. Dies ist bedeutsam im Hinblick auf eine ausreichende Kühlung der elektronischen Bauelemente, da deren Lebensdauer sich um die Hälfte reduziert, sobald die maximal zulässige Betriebstemperatur um 10 K überschritten wird. In diesem Fall muss die Kühlleistung $\dot{Q}_{\text{Kühl}}$ entsprechend gesteigert werden.

4.2 Elektrothermische Analogie

Die Vergleichbarkeit von thermischen und elektrischen Problemen hinsichtlich ihrer mathematischen Beschreibung nennt man elektrothermische Analogie.

In Analogie zum Ohmschen Gesetz aus der Elektrotechnik

$$I = \frac{U}{R} \quad (4a)$$

entsprechen sich die Spannung U und die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2$ sowie der Strom I und der Wärmestrom \dot{Q} . Durch Einführen *thermischer* Widerstände R_{th} folgt

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\vartheta}{R_{th}} \quad (4b)$$

Für die am Schaltschrank auftretenden Wärmetransportvorgänge Konvektion, Leitung und Strahlung resultieren thermische Widerstände wie folgt:

Konvektion: $\dot{Q}_K = \frac{\vartheta_L - \vartheta_{Ob}}{R_{th,K}}$ mit $R_{th,K} = \frac{1}{\alpha \cdot A}$

Leitung: $\dot{Q}_L = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{th,L}}$ mit $R_{th,L} = \frac{s}{\lambda \cdot A}$

Strahlung: $\dot{Q}_S = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{th,S}}$ mit

$$R_{th,S} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A_1 \cdot \varphi_{12} \cdot C_S \cdot (T_1^4 - T_2^4)}$$

Damit lassen sich die am Schaltschrank auftretenden Wärme-transportvorgänge Konvektion, Leitung und Strahlung anschau-lich durch Widerstandsersatzschaubilder (vgl. Abb. 4.2.1) beschreiben.

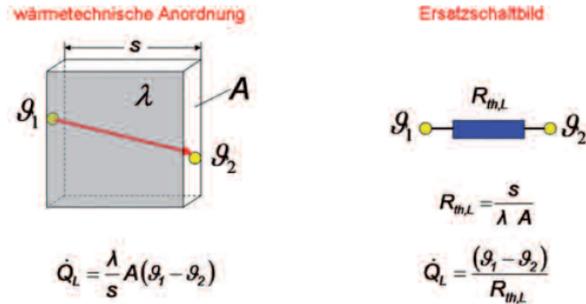


Abbildung.4.2.1: Elektrothermisches Ersatzschaltbild für Wärme-leitung

Beim Wärmetransport am Schaltschrank, bei dem von innenlie-genden heißen Bauteiloberflächen über die Innenluft durch die Schrankwand an die Außenluft im Regelfall Wärme abgegeben wird, ist eine Kombination von Konvektion, Leitung und Strah-lung zu berücksichtigen, die als Wärmedurchgang bezeichnet wird. Für den Wärmestrom bei Wärmedurchgang gilt:

$$\dot{Q}_D = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{th,D}} \quad (6) \quad \text{mit } R_{th,D} = \frac{1}{k \cdot A}$$

und k als Wärmedurchgangskoeffizient. Für eine Kombination aus zweimaliger Konvektion und einmaliger Wärmeleitung ent-sprechend Abbildung 4.2.2 resultiert analog zur Serienschaltung in der Elektrotechnik ein thermischer Gesamt-widerstand beim Wärmedurchgang von

$$R_{th,D} = R_{th,K1} + R_{th,L} + R_{th,K2} = \frac{1}{A \cdot \alpha_1} + \frac{s}{A \cdot \lambda} + \frac{1}{A \cdot \alpha_2}$$

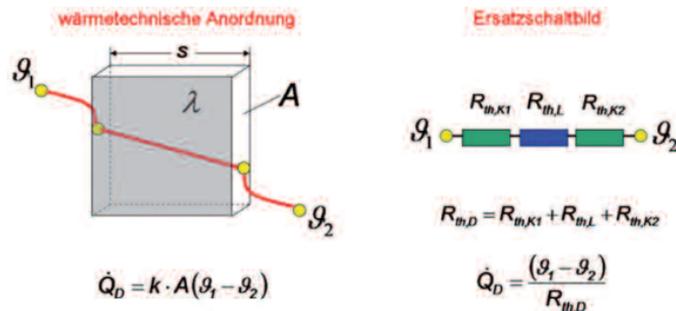


Abbildung 4.2.2: Elektrothermisches Ersatzschaltbild für Wärme-durchgang

4.3 Theoretische Schaltschranktemperatur

Für ideale thermische Verhältnisse im Schaltschrank ist ein optimal vermisches Luftvolumen mit einer konstanten einheitlichen Lufttemperatur (kalorische Mitteltemperatur) im Schaltschrankinneren zu fordern. Dieser für die Praxis wünschenswerte theoretische Grenzfall kann mit einer einfachen Energiebilanz, entsprechend dem in Abbildung 4.3.1 gezeigten elektrothermischen Widerstandsmodell, beschrieben werden:

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_{Kühl} + \dot{Q}_D$$

Zur Aufrechterhaltung stationärer Verhältnisse muss die Bauteilverlustleistung \dot{Q}_V mittels Wärmedurchgang \dot{Q}_D von innen nach außen an die Umgebung und einer zusätzlichen aktiven Kühlung $\dot{Q}_{Kühl}$ kompensiert werden. Aus dieser Bilanz resultiert mit Gl. (6) für die ideale Innenlufttemperatur

$$\bar{\vartheta}_L = \vartheta_{am} + \frac{\dot{Q}_V - \dot{Q}_{Kühl}}{k \cdot A} \quad (7)$$

Die Auswertung von Gl. (7) gestaltet sich einfach, wenn bei bekannten Werten für Umgebungstemperatur, Kühl- und Verlustleistungen ϑ_{am} , $\dot{Q}_{Kühl}$, \dot{Q}_V ein Wert von 5,5 W/(m²K) für den Wärmedurchgangskoeffizienten k verwendet wird, wie u.a. von Styppa [1] empfohlen. A stellt die effektive Schaltschrankoberfläche dar, die nach DIN 57660 Teil 500 bzw. DIN VDE 0660 Teil 500/IEC 890 zu berechnen ist.

Ein genaues Abbilden der in realen Schaltschränken sich einstellenden thermischen Verhältnisse im Luftvolumen ist mit dem sehr einfachen Grobstrukturmodell gemäß Gl. (7) nicht möglich.

Eine Möglichkeit zur Modellverbesserung besteht darin, das Schaltschrankluftvolumen durch horizontale Schnitte in verschiedene Luftzonen (unterhalb, oberhalb, vor und hinter dem Verdrahtungssystem), die untereinander energetisch und strömungstechnisch gekoppelt sind, zu unterteilen (vgl. Abb. 4.3.2).

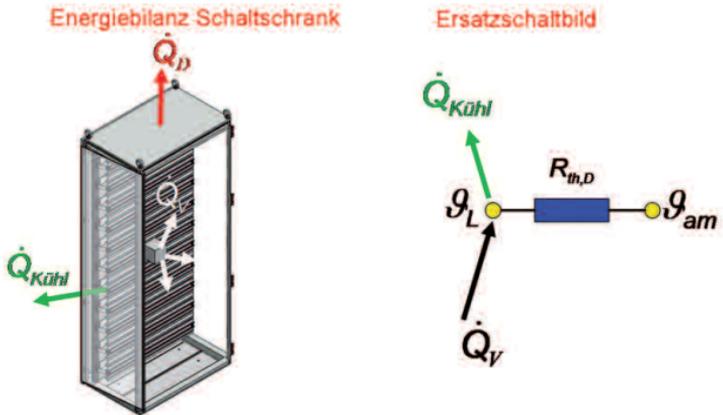


Abbildung. 4.3.1: Elektro-thermisches Ersatzschaltbild für ideale Schaltschrankklimatisierung

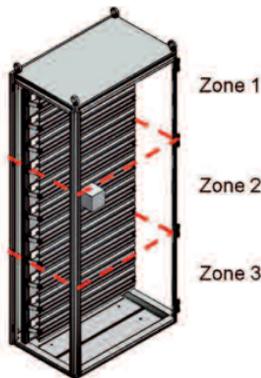


Abbildung. 4.3.2: Zonenunterteilung des Schaltschranks

Durch die Zonenunterteilung wird ein Verteilen der Gesamtverlustleistung der Bauteile auf die entstandenen Schaltschrankzonen ermöglicht. Für jede Luftzone sind separate Lufttemperaturen bestimmbar. Damit können auch Temperaturschichtungen, wie sie beispielsweise bei freier Kühlung auftreten, berechnet werden.

Abb. 4.3.3 zeigt exemplarisch ein Berechnungsergebnis für ein Zonen-Grobstrukturmodell mit Temperaturschichtung im Schaltschrank von unten nach oben.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass Zonen-Grobstrukturmodelle nicht in der Lage sind, strömungsverblockte Schaltschrankluftbereiche zwischen Bauteilen, die zumeist hohe Temperaturen aufweisen (Hotspot-Bereiche) nachzurechnen und zu identifizieren.

Bei den mit diesen Modellen bestimmbaren Lufttemperaturen handelt es sich vielmehr um eine gute Näherung der Temperaturen in der freien, da ungestörten Lufthauptströmung in großem Abstand vor den Bauteilen.

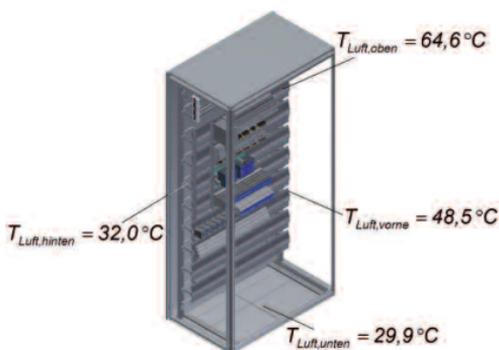


Abbildung. 4.3.3: Berechnungsergebnis eines Zonen-Grobstrukturmodell für freie Kühlung $\dot{Q}_{\text{Kühl}} = 0$

4.4 Reale thermische Verhältnisse im Schaltschrank

Schaltschrankeinbauten wie LSC-Rahmen, Bauteile und Verkabelung beeinflussen die realen thermischen Verhältnisse im Schaltschrankinneren.

Das gesamte Luftvolumen im Schaltschrank kann prinzipiell in die folgenden zwei Luftbereiche aufgeteilt werden:

- Luftvolumen im freien Strömungsbereich
- Luftvolumen zwischen den Bauteilen.

Das Luftvolumen im freien Strömungsbereich befindet sich vor den Bauteilen und hinter dem LSC-Rahmen (vgl. rot markierte Ebenen in Abb. 4.4.1.). Hier kann die Luft ungestört entweder zwangsumgewälzt oder auftriebsbedingt strömen. Wird die Schaltschrankinnenluft mit Gebläsen zwangsumgewälzt, so stellen sich im freien Strömungsbereich, abhängig vom Volumenstrom des Gebläses, quasi homogene Temperaturverteilungen ein, wie z.B. durch Rechnung (siehe Abb. 4.4.1) gezeigt werden kann.

Im Luftvolumen zwischen den Bauteilen zeigt sich ein gänzlich anderes thermisches Verhalten als im Luftvolumen des freien Strömungsbereiches bei identischem Betriebszustand.

Zwischen den Bauteilen können sich Hotspot-Bereiche in der Luft ausbilden (vgl. Abb. 4.4.2). Dies sind Bereiche mit deutlich höheren Lufttemperaturen als beispielsweise die Regeltemperatur des verwendeten Klimagerätes. Temperaturmessungen an Hotspot-Bereichen im realen Schaltschrankbetrieb zeigen, dass beim Betrieb mit Dachkühlgerät trotz einer Regeltemperatur von 35°C Lufttemperaturen zwischen den Bauteilen von bis zu 50 °C auftreten können.

Hotspots entstehen in Schaltschrankzonen in denen die Bauteile mit großer volumetrischer Verlustleistung sehr dicht aneinander angeordnet werden und/oder die Verlustwärme durch den

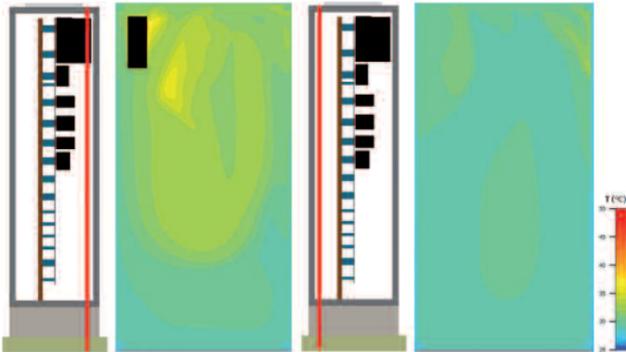


Abbildung 4.4.1: Lufttemperatur im freien Luftvolumen (links vor Bauteilen, rechts hinter LSC-Rahmen, stationärer Betrieb mit Dachkühlgerät)

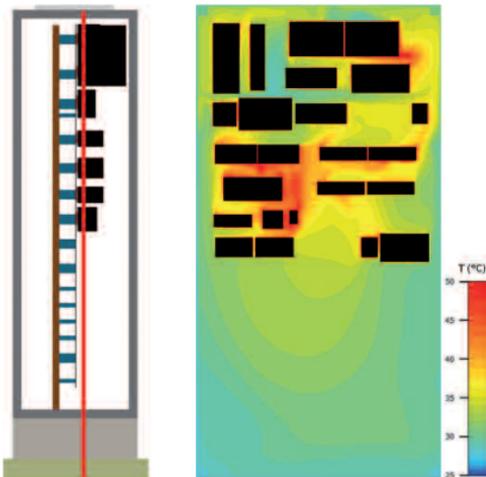


Abbildung 4.4.2: Lufttemperatur zwischen den Bauteilen, stationärer Betrieb mit Dachkühlgerät

erzeugten Kaltluftstrom nicht oder nur schlecht abtransportiert werden kann.

Die Bildung von Hotspots ist abhängig vom inneren Schaltschrankaufbau (Bauteil- und Verlustleistungsverteilung, Geometrie, Strömungsführung).

Fazit: Die unterschiedlichen thermischen Verhältnisse im realen Schaltschrankbetrieb stellen eine Herausforderung an eine effektive Schaltschrankklimatisierung dar.

Es ist es erforderlich, neben einer energieeffizienten Kaltluftzeugung dafür zu sorgen, dass die aufwändig erzeugte Kaltluft bedarfsgerecht im Schaltschrank verteilt wird, um Hotspots zu vermeiden bzw. deren Ausprägung zu mindern.

4.5 Auswirkung von Klimakomponenten auf die thermischen Verhältnisse im Schaltschrank

Beim Betreiben eines klimatisierten Schaltschranks mit einer konstanten Verlustleistung hängen die sich im freien Strömungsbereich einstellenden Lufttemperaturen von der eingesetzten Klimatisierungsart ab (vgl. Abb. 4.5.1).

Beim Schaltschrankbetrieb ohne aktive Klimakomponente spricht man von freier Kühlung, bei der sich eine Temperaturschichtung in der Schaltschrankluft von unten nach oben einstellt. Die Innenluft erwärmt sich an den Bauteilen, steigt auftriebsbedingt nach oben und sammelt sich stark erwärmt im oberen Schaltschrankbereich. Die sich einstellende maximale Lufttemperatur hängt sehr stark von der Verlustleistung der Bauteile ab. Freie Kühlung ist an die Bedingung gekoppelt, dass die Umgebungsluft stets kühler als die Schaltschrankinnenluft ist.

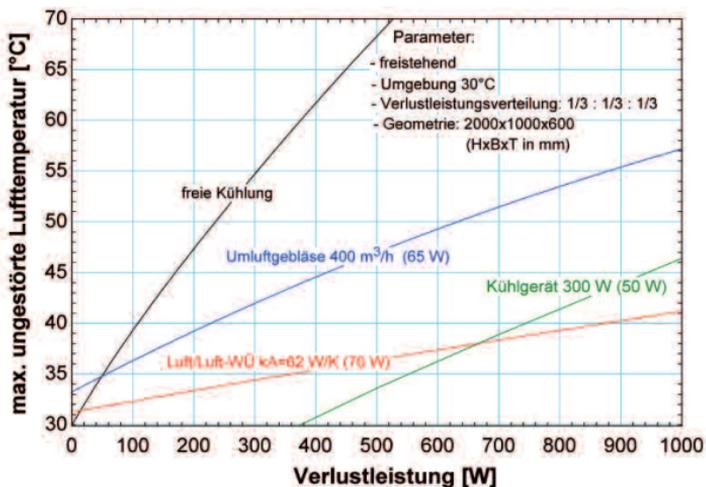


Abbildung 4.5.1: Einfluss von Klimakomponenten auf die Temperatur im freien Luftvolumen (Messwerte)

Durch den Einsatz eines **AirBLOWER** kann die Temperaturschichtung, welche bei freier Kühlung entstanden ist, zerstört werden. Die unterschiedlich temperierten Luftzonen werden vermischt, womit sich eine homogene Mischtemperatur im freien Strömungsbereich einstellt. Das Temperaturniveau der Mischtemperatur liegt deutlich unterhalb der Maximaltemperatur bei freier Kühlung. Typische Werte für die Lüfterantriebsleistung sind 60 W bis 70 W. Dabei werden Volumenströme von bis zu 400 m³/h umgewälzt.

In Abb. 4.5.2 ist Wirkungsweise von Zwangsumwälzung ohne Kühlung (**AirBLOWER**) auf die Temperaturverteilung im freien Luftvolumen, ausgehend von freier Kühlung, verdeutlicht. Es handelt sich dabei um die exemplarischen Rechenergebnisse eines Zonen-Grobstrukturmodells.

Zur Temperaturabsenkung von zwangsumgewälzter Schaltschrankinnenluft muss diese aktiv gekühlt werden. Dazu können Wärmeübertrager oder Schaltschrankkühlgeräte eingesetzt werden. Je größer der energetische Aufwand ist, der dabei betrieben wird, desto geringere Luftinnentemperaturen lassen sich erzielen. Antriebsenergie wird benötigt z.B. für Gebläse im Primär- (Wärmequellen-) und Sekundär- (Wärmesenken-) Kreislauf von Wärmeübertragern, für Gebläse zur Erzeugung von Luftströmung über den Verdampfer und Kondensator bei Klimageräten und für Verdichter im Kältemittelkreislauf von Klimageräten.

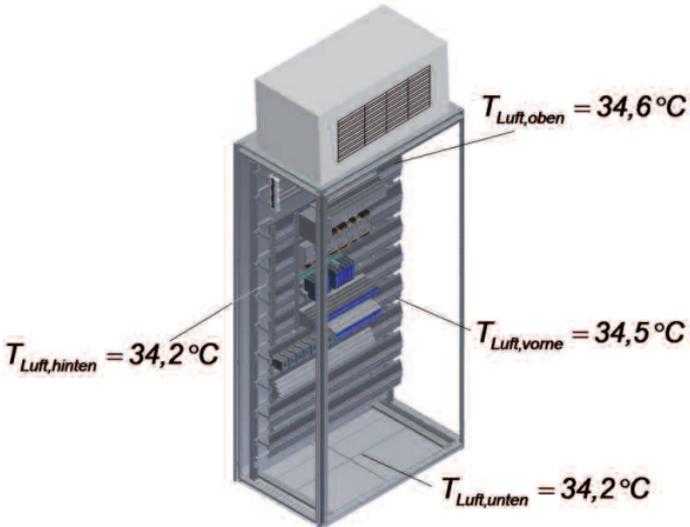
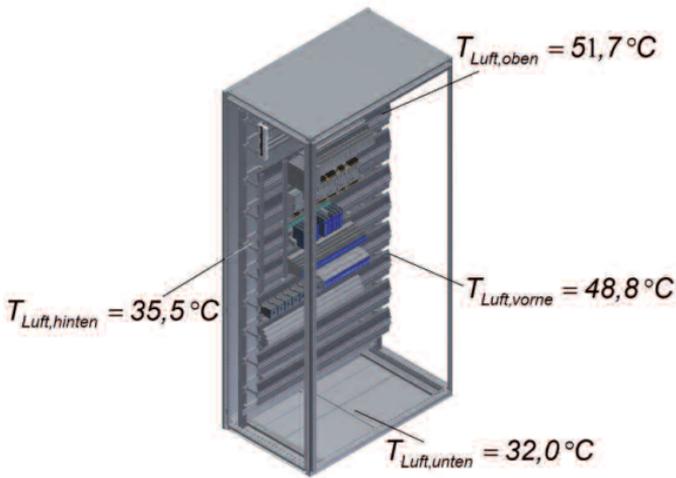


Abbildung 4.5.2: Temperaturverteilung im freien Luftvolumen eines Schaltschranks (300 W Verlustleistung, 30°C Umgebung) (oben: freie Kühlung, unten: Betrieb mit Dachaufbau-Klimagerät (150 W Kühlleistung))

Erfolgt die Kühlung von Schaltschrankinnenluft mit Umgebungs-
luft durch Verwenden eines Luft/Luft-Wärmeübertragers, so ent-
spricht die minimal erzielbare Innenlufttemperatur der
Umgebungstemperatur.

Schaltschrankklimageräte werden taktend betrieben. Dabei
schaltet sich das Klimagerät ein, sobald eine vorgegebene Soll-
werttemperatur im freien Strömungsvolumen erreicht wird. Mit
Schaltschrankklimageräten lassen sich Luftinnentemperaturen
unterhalb der Umgebungstemperatur erzeugen.

Trägt man die sich im freien Luftvolumen einstellenden Tempera-
turen als Funktion von der Bauteilverlustleistung in Diagramm-
form auf, so resultiert ein Kennlinienfeld. In diesem sind die
verschiedenen Klimatisierungstechniken als Parameterkurven
darstellbar (vgl. Abb. 4.5.3.)

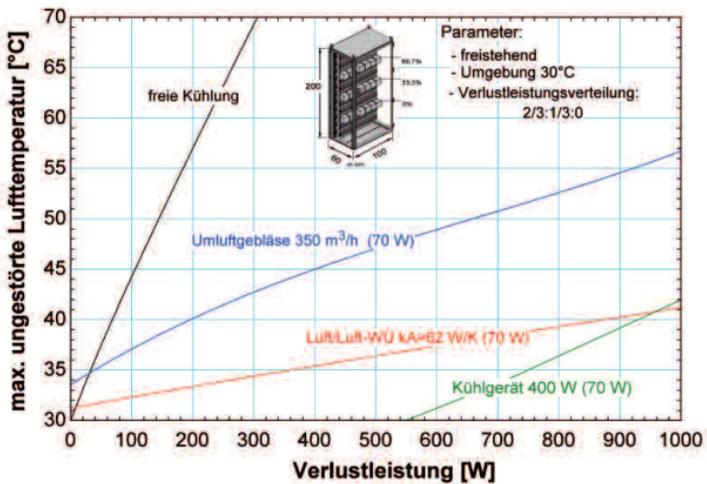


Abbildung. 4.5.3: Einfluss von Klimakomponenten auf die maxi-
male Temperatur im *freien Luftvolumen* (Rechenergebnisse
Zonen-Grobstrukturmodell)

5 LITERATURVERZEICHNIS

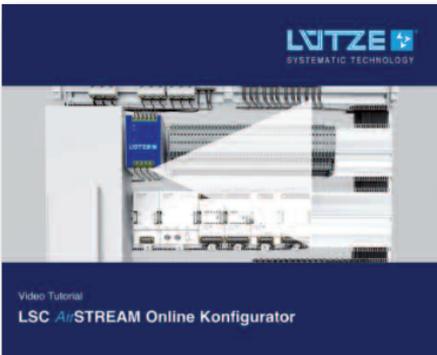
- [1] Styppa, Heinrich:
Schaltschrank-Klimatisierung: Grundlagen,
Komponenten, Anwendungen, Verlag Moderne
Industrie, 1992, ISBN 3-478-93080-4
- [2] Klingberg, Gottfried: Schaltschrank- und Gehäuseklima-
tisierung in der Praxis, Teil II, Mählin Werbung Düssel-
dorf, 1996, ISBN 3-923270-07-0
- [3] Klingberg, Gottfried; Wolfgang Mähling:
Schaltschrank- und Gehäuse-Klimatisierung bei beson-
deren Einsatzbedingungen, Teil III, Hüthig Verlag
Heidelberg, 1999, ISBN 3-7785-2727-4

Die LÜTZE LSC *Air*STREAM Online-Angebote



LÜTZE LSC *Air*STREAM Konfigurator:

<http://bit.ly/1aMCsJN>



Video Tutorial auf Youtube:

Im LÜTZE Kanal finden Sie das Video zum LÜTZE LSC *Air*STREAM Konfigurator

<http://bit.ly/1byq7Ro>



Weitere Informationen zum LSC *Air*STREAM System

erhalten Sie unter:

<http://bit.ly/1fOa9i>

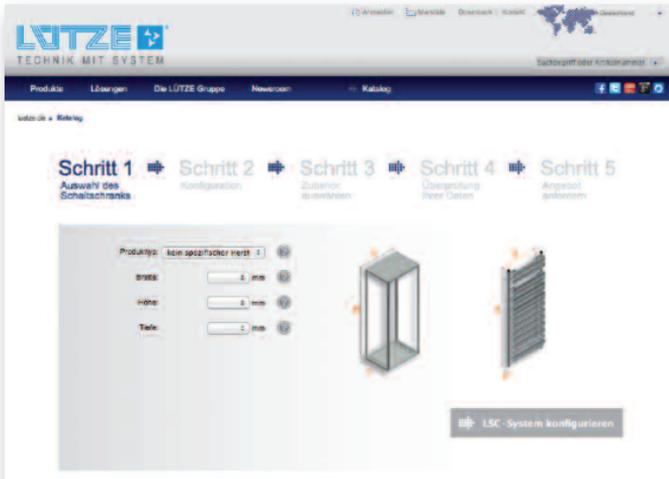


5 Schritte zum Montagerahmen.

LSC-Airstream Verdrahtungssystem online konfigurieren.

Mit dem kostenlosen Online-Konfigurator können Anwender problemlos auf das LSC-Airstream Verdrahtungssystem umsteigen bzw. sich als Bestandskunde einen LSC-Airstream Verdrahtungsrahmen selbst konfigurieren. Die intuitive Bedienung, zahlreiche Hilfe-Features und vorgegebene Standardeinstellungen machen die Konfiguration beinahe zum Kinderspiel. Die Konfiguration eines LÜTZE LSC-Airstream Montagerahmens erfolgt in fünf Schritten.

Der LÜTZE LSC-Airstream Online-Konfigurator kann unter der folgenden Webadresse aufgerufen werden:
<http://www.luetze.de/katalog/lsc-konfigurator/>



Schritt Eins: Definition von Schaltschranktyp und -größe.

Schritt Zwei: Konfiguration des Montagerahmens.

Schritt Drei: Auswahl des Zubehörs

Schritt Vier: Kontrolle aller Daten.

Schritt Fünf: Angebotsanforderung und Download der Konstruktionsdaten.

6. Checkliste

Als Grundlage zur Analyse Ihrer Schaltschrankproblematik ist folgende Checkliste und die Beantwortung der darin enthaltenen Fragen sehr hilfreich. Bitte beachten Sie die Hinweise zur Beratung durch LÜTZE im hinteren Teil der Checkliste.

1. Umgebungstemperatur

Welche Umgebungstemperatur herrscht am Aufstellort? _____ °C

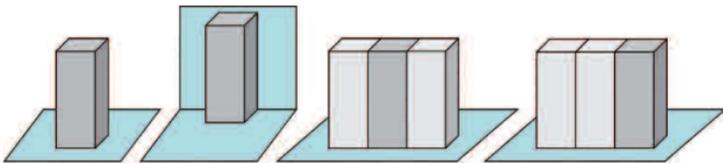
Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Für freie Kühlung, Umluftgebläse, Luft/Luft-Wärmeübertrager gilt: Tiefer als die Umgebungstemperatur geht es nicht im Schaltschrankinneren
- Für Kühl- (Klima-) Geräte: tiefer als die Umgebungstemperatur im Schaltschrankinneren ist nicht energieeffizient
- Temperaturänderungen in der Umgebung sind 1:1 im Schaltschrankinneren bemerkbar
- Je tiefer die Umgebungstemperatur, desto geringer der Aufwand für Klimatisierung

2. Aufstellort

Welche Variante wird verwendet? (bitte ankreuzen)

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:



(a)

(b)

(c)

(d)

- Schaltschrankaufstellung freistehend ist besser als Wandanbau
- Gleichgültig ob freistehend oder Wandanbau:
Einzelgehäuse ist besser als Anfangs-, Mittel- oder Endgehäuse.
Anfangs- und Endgehäuse sind besser als Mittelgehäuse.
- Falls Wandanbau: Möglichst kalte Stellwände!
- Die Abbildung zeigt die in der Praxis bedeutsamen Aufstellungsarten von Schaltschränken
(a) allseitig freistehend (b) Einzelschrank Wandanbau
(c) Mittelschrank einer freistehenden Kombination
(d) Eckschrank einer freistehenden Kombination.

3. Bauteilkompaktheit

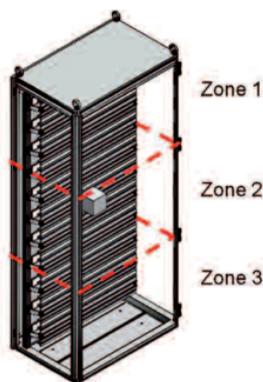
Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Verringerung der Bauteilkompaktheit reduziert die Gefahr der Hot-Spot-Bildung
- Die Reduktion der Bauteilkompaktheit ist besonders wichtig beim Einsatz von **AirBLOWER** und bei freier Kühlung

4. Bauteilplatzierung

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Korrekte Bauteilplatzierung ist bei Frontanbaugerät besonders wichtig
- Effektiv klimatisiert nur im Schaltschrankbereich zwischen Kaltluftzufuhr und Warmluftabsaugung
- Bauteile mit großer Verlustleistung in der Nähe der Kaltluftzufuhr platzieren
- Die Erfolgsformel: Passende Bauteilposition + Reduktion der Bauteilkompaktheit
- Bei freier Kühlung: Gleichverteilung der Verlustleistung im gesamten Schaltschrank



Welche gesamte Verlustleistung ist in den einzelnen Zonen vorhanden?

Zone 1: _____ W

Zone 2: _____ W

Zone 3: _____ W

5. Geeignete Luftverteilungsverfahren mittels eines **AirBLOWER** zur Vermeidung von Temperaturschichtung

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Durch den **AirBLOWER** kann die maximale Lufttemperatur im Schaltschrank gesenkt werden.

6. Luftkurzschluss

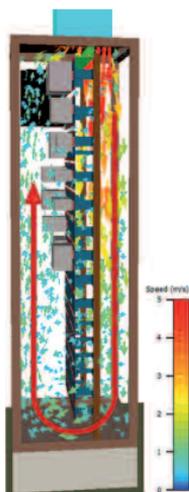
Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Vermeidung von Luftkurzschlüssen steigert Energieeffizienz
- Die Wirksamkeit von strömungsführenden Einbauten hängt von Ausführungsgüte ab

7. Zirkulationsströmung

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Strömung um Verdrahtungssystem und Bauteile reduziert Hotspot-Bildung



8. Position des Kühl- (Klima-) Gerätes

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Für Einzelgehäuse:
Dachaufbau und Frontanbau sind besser als Seitenanbau
- Bei Kaltluft erzeugern an der Rückwand:
Energieeffiziente Klimatisierung mit LSC durch Zonierung

9. Strömungstotgebiete

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Einsatz von Luftleitblechen erfordert Zirkulationsströmung um LSC-Rahmen

10. Kabelführung und Kammdeckel

Bitte beachten Sie dabei folgende Hinweise:

- Bei Verkabelung wie empfohlen:
Keine negativen Auswirkungen der Verkabelung auf das Innenklima bei Dachkühl-, Frontanbau- und Rückwandanbaugeräten

Beratung durch LÜTZE

Bei weiteren Fragen bzw. Beratungswunsch bitten wir Sie um Zusendung der ausgefüllten Checkliste inklusive einer Skizze des aktuellen Schaltschrankaufbaus und der Gerätestückliste unter Angabe der jeweiligen Verlustleistung.

Wir beraten und unterstützen Sie gerne!

Bitte senden Sie Ihre Anfrage an lsc-airstream@luetze.de

Friedrich Lütze GmbH
Bruckwiesenstraße 17-19
71384 Weinstadt
Tel.: +49 71 51 60 53-0
info@luetze.de
www.luetze.de

