



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

RICHTLINIE
HLK-ANLAGEN
TUNNELZENTRALEN

Ausgabe 2024 V1.00
ASTRA 13008

Impressum

Autoren / Arbeitsgruppe

Renato Kundert	ASTRA DS-UARS, Vorsitz
Bernard Crausaz	ASTRA DS-UARS
Markus Eisenlohr	ASTRA I-Ost FU
Michael Ritler	ASTRA I-West EP
Martin Wyss	ASTRA I-West B
Martin Ochsner	Haerter & Partner AG

Originalsprache

Deutsch

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2024

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Für den Betrieb der Nationalstrasse sind Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlagen) in den Tunnelzentralen unabdingbar. Diese dienen zur Sicherstellung eines geeigneten Raumklimas für den Betrieb der technischen Einrichtungen von Tunnelzentralen.

Bei der Realisierung der HLK-Anlagen ist die Herausforderung die Wahl des Systems, welches entsprechenden dem Standort, die ideale Lösung darstellt. Welche baulichen Massnahmen sind nötig, sinnvoll oder sogar zwingend für ein funktionierendes System. Welche Kosten fallen später beim Betrieb der Anlagen an mit der gewählten Steuerung und der installierten Leistung.

Diese Richtlinie vereinheitlicht die Planung und die Realisierung der HLK-Anlagen schweizweit. Ein wichtiger Punkt ist die Optimierung der Betriebseinstellungen nach der Inbetriebnahme der Anlagen. Damit werden die Anlagen über die ganze Lebensdauer ökologisch und ökonomisch ideal betrieben.

Bundesamt für Strassen

Jürg Röthlisberger
Direktor

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort.....	3
1	Einleitung	7
1.1	Zweck der Richtlinie	7
1.2	Geltungsbereich	7
1.3	Adressaten	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Anforderungen	8
2.1	Bauliche Anforderungen.....	8
2.2	Aussenklimatische Vorgaben.....	8
2.3	Brandschutzvorschriften.....	8
2.4	Akustik.....	8
2.5	Schnittstellen	9
2.5.1	Werkleitungs kanal.....	9
2.5.2	Sicherheitsstollen	9
2.5.3	Tunnellüftung.....	9
2.5.4	Energieversorgung.....	9
2.6	Überdruck.....	9
3	Betriebszustände	10
3.1	Normalbetrieb.....	10
3.2	Ereignis in der Tunnelzentrale	10
3.3	Ereignis im Fahrraum.....	10
3.3.1	Erhöhte Abwärme	10
3.3.2	Koordination Beteiligte	10
3.3.3	Strömungskurzschlüsse	11
4	Systemwahl / Anlageplanung	12
4.1	Grundsätze / Vorgehen	12
4.2	Auslegungen	12
4.3	Lüftung	13
4.3.1	Raumgruppen.....	14
4.3.2	Lüftungstechnische Brandabschnitte	14
4.3.3	Raumtemperaturfühler	15
4.3.4	Lüftungen Technikräume	15
4.3.5	Lüftungen Traforäume.....	15
4.3.6	Lüftungen Batterieräume.....	16
4.3.7	Lüftungen WC-Räume	16
4.4	Heizung	16
4.5	Kühlung	17
4.6	Befeuchtung / Entfeuchtung.....	17
4.7	Energieeffizienz.....	18
4.7.1	Erdregister (erdberührter Kanal oder Rohre).....	18
4.7.2	Umluft-Beimischung	18
4.7.3	Ventilatoren Lüftungen Technikräume	18
4.7.4	Kälteanlagen / Wärmepumpen.....	18
4.7.5	Unterschiedliche Sollwerte Raumtemperaturen (Sommer- / Winterumschaltung)	19
4.7.6	Effiziente Kühlungen von Schaltschränken in technischen Räumen.....	19
4.7.7	USV-Räume	19
4.8	Steuerungen, Regulierungen	19
4.8.1	Schaltschränke.....	19
4.8.2	Steuer- und Regelsystem.....	19
4.8.3	Messwerte und Meldungen	19

4.8.4	Anbindung Leitsystem UeLS	20
5	Technische Spezifikationen.....	21
5.1	Materialanforderungen.....	21
5.2	Korrosion und Oberflächenbehandlungen	21
5.3	Monoblockgeräte	21
5.4	Umluft-Kühlgeräte.....	22
5.5	Gliederklappen	22
5.6	Druckentlastungsklappen.....	22
5.7	Luftfilter	22
5.8	Ventilatoren	22
5.9	Motoren allgemein	23
5.10	Lüftungskanäle.....	23
5.10.1	Ausführung der Blechkanäle.....	23
5.10.2	Material	23
5.10.3	Blechstärken	23
5.11	Verbindungen.....	23
5.11.1	Kanäle	23
5.11.2	Rohre	24
5.11.3	Spezielle Kanäle	24
5.12	Abhängungen.....	24
5.13	Durchführung durch Wände und Decken	24
5.14	Isolation von Kanälen.....	24
5.15	Schalldämpfer	24
5.15.1	Kulissenaufbau	24
5.15.2	Gehäuseaufbau	24
5.16	Lüftungsgitter	24
5.16.1	Zuluft-Gitter	24
5.16.2	Abluft-Gitter	25
5.16.3	Abluftventile	25
5.16.4	Wetterschutzgitter	25
5.17	Brandschutzklappen	25
5.18	Volumenstromregler.....	25
5.18.1	Variable Volumenstromregler	25
5.18.2	Konstante Volumenstromregler	25
5.19	Beschriftungen.....	25
6	Anlagentest	26
6.1	Vorbereitung Inbetriebnahme (IBN).....	26
6.2	Inbetriebnahmen	26
6.3	Zuständigkeiten.....	26
6.4	Terminplan	26
6.5	Funktion- und Leistungsprüfung	27
6.6	Messgrößen.....	27
7	Betrieb und Erhaltung	28
7.1	Optimierung	28
7.2	Wartung.....	28
7.3	Rückbau und Entsorgung	29
	Glossar.....	31
	Literaturverzeichnis.....	32
	Auflistung der Änderungen	33

1 Einleitung

1.1 Zweck der Richtlinie

Diese Richtlinie beschreibt die HLK-Anlagen für Tunnelzentralen und legt Grundsätze und Kriterien für die Systemwahl, die Dimensionierung, die Ausführung und den Betrieb der Anlagen fest. Sie enthält bauliche Vorgaben, welche bei der Projektierung der Tunnelzentralen zwingend zu berücksichtigen sind. Zudem werden auch Grundlagen für Optimierungen spezifiziert. Ferner dient sie einerseits einer Vereinfachung der Projektierung und andererseits einer Vereinheitlichung der Systeme und Anforderungen.

1.2 Geltungsbereich

Die Richtlinie gilt für die Planung, die Realisierung, den Betrieb und den Unterhalt der HLK-Anlagen der Nationalstrassen in Tunneln und auf der offenen Strecke.

Die Richtlinie gilt für Tunnelzentralen, welche im Eigentum vom ASTRA sind.

Die Tunnelzentralen umfassen die folgenden Bauwerke von Strassentunneln: Zentralen und technische Lokale, welche oberirdisch, teilweise überdeckt oder unterirdisch erstellt werden.

1.3 Adressaten

Die Richtlinie richtet sich an:

- Fachspezialisten des ASTRA (EP, FU, PM, Betrieb etc.);
- Fachspezialisten der Gebietseinheiten;
- Planer und Unternehmungen, die im Auftrag des ASTRA Leistungen an HLK-Anlagen erbringen;
- Inspektoren und Kontrollstellen.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 24.05.2024 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 33 dokumentiert.

2 Anforderungen

2.1 Bauliche Anforderungen

Die Flächen von Tunnelzentralen und HLK-Räumen müssen so gewählt werden, dass die HLK-Anlagen untergebracht werden können. Zudem ist der Platzbedarf für die Wartungen, Revisionen, allfällige Ersatzteile (zum Beispiel Filter) und Erweiterungen vorzusehen.

Die Umschliessungsflächen (wie Aussenwände und Decken) sind so thermisch zu dämmen, dass der Wärmebedarf mit der Abwärme der Betriebseinrichtungen abgedeckt werden kann. Aussenwände, die nicht mit Erdreich eingedeckt sind, müssen thermisch isoliert werden.

Je nach geologischer Lage einer Mittelzentrale müssen die Aussenhüllen (Wände, Decken und Böden) der Tunnelzentralen gegen die Erdwärme thermisch isoliert werden.

Die Aussenluftfassungen und Fortluftaustritte müssen einen genügend grossen Abstand zueinander haben, um einen Kurzschluss der Luft zu verhindern. Auch wenn die Tunnelzentralen nicht ständig mit Personen belegt sind, ist die Aussenluftfassung, wenn möglich mindestens 3 m über dem Terrain in unbelasteten Zonen anzubringen.

Anforderungen an den Bau: Dichtigkeitsklasse 1 gemäss SIA 270, also vollständig trocken, das heisst keine Feuchtstellen an den Bauwerksoberflächen auf der Innenseite.

2.2 Aussenklimatische Vorgaben

Die Aussenbedingungen können der SIA-Norm 2028 entnommen werden. Für jede Region ist die jeweils gültige Auslegungsaussentemperatur zu verwenden.

2.3 Brandschutzvorschriften

Für Tunnelzentralen, welche im Eigentum vom ASTRA sind, ist das ASTRA als Selbstversicherer keiner kantonalen Gebäudeversicherung unterstellt. Das ASTRA übernimmt die Richtlinien des Verbandes der kantonalen Feuerversicherungen VKF auf freiwilliger Basis für die Ausführungen des Brandschutzes in Tunnelzentralen und passt diese wo notwendig den besonderen Gegebenheiten des ASTRA an.

Das ASTRA übernimmt die Aufgaben der Brandschutzbehörden. Bei Bundesbauten gibt es keine Abnahme durch kantonale Behörden.

2.4 Akustik

Die Belastungsgrenzwerte des Industrie- und Gewerbelärms (von Komponenten der HLK-Anlagen wie Ventilatoren oder Kompressoren) müssen gemäss Anhang 6 der Lärmschutz-Verordnung (LSV, SR 814.41) eingehalten werden. Bei Überschreitungen der massgebenden Belastungswerte sind geeignete bauliche oder betriebliche Massnahmen umzusetzen (z.B. Schalldämpfer, Wände usw.).

2.5 Schnittstellen

2.5.1 Werkleitungskanal

Ein Werkleitungskanal muss mechanisch belüftet werden. Bei Anwesenheit von Personen im Werkleitungskanal muss eine ausreichende Versorgung mit Aussenluft sichergestellt werden.

Wenn die Luft aus einem Werkleitungskanal für andere Anlagen genutzt wird, ist dies in der Luftmengenbilanz zu berücksichtigen. Die belastete Fortluft soll nicht in den WELK zurückgegeben, sondern in den Fahrraum abgegeben werden. Die unbelastete Fortluft (Lüftung Technikräume) kann wieder in den WELK geführt werden.

Falls der Werkleitungskanal als Sicherheitsstollen verwendet wird, ist die Lüftung des Werkleitungskanals gemäss [2] zu konzipieren.

2.5.2 Sicherheitsstollen

Die Lüftungen von Sicherheitsstollen und Tunnelzentralen sind in einer gemeinsamen Steuerung integriert.

Die Lüftung von Sicherheitsstollen ist gemäss [2] zu konzipieren.

Wenn die Luft aus dem Sicherheitsstollen für die Lüftung einer Tunnelzentrale verwendet werden soll, muss der Luftbezug in der Auslegung des Sicherheitsstollens berücksichtigt werden. Die Fortluft soll nicht in den Sicherheitsstollen zurückgegeben, sondern in den Fahrraum abgegeben werden.

2.5.3 Tunnellüftung

Die Lüftungen für Fahrraum und Tunnelzentrale sind als aerodynamisch getrennte Systeme zu konzipieren. Eine Nutzung von Tunnelluft für die Versorgung der Tunnelzentralen (Zentrale Mitte) ist zu vermeiden.

Die Tunnellüftung ist gemäss [1] zu konzipieren.

2.5.4 Energieversorgung

Für die HLK-Anlagen müssen folgende Energieversorgungen koordiniert werden:

- Die HLK-Anlage wird grundsätzlich ab dem Normalnetz versorgt.
- Anschluss an das USV-Netz folgender Teilkomponenten: Steuerung HLK, Abluftventilator der Lüftungen Technikräume.

2.6 Überdruck

Es ist ein Überdruck in den Tunnelzentralen gegenüber dem Tunnelfahrraum anzustreben, um das Eindringen von verschmutzter Luft in die Technikräume zu verringern. Die Aussenluftmenge muss daher ca. 10 % grösser sein als die Fortluftmenge, wobei dieser Überdruck einfach parametrierbar sein muss.

3 Betriebszustände

3.1 Normalbetrieb

Der Normalbetrieb ist der häufigste Betriebsfall. Die energetischen Anforderungen an die Luftförderungen sowie die Wärme- und Kälteerzeugung nach der Norm SIA 382/1 müssen im Normalbetrieb umfassend eingehalten werden.

Die Anwesenheit von Personen in der Tunnelzentrale hat keinen Einfluss auf die Luftmengen der HLK-Anlagen. Im Normalbetrieb müssen die Raumtemperaturen gemäss der Tabelle «4.1 Raumtemperaturen» im Kapitel 4.2 «Auslegungen» eingehalten werden. Projektbedingte Änderungen gegenüber den Vorgaben müssen begründet und bewilligt werden.

3.2 Ereignis in der Tunnelzentrale

Bei einem Brandalarm in der Tunnelzentrale werden die HLK-Anlagen über die Gebäude-BMA abgestellt und die Brandschutzklappen schliessen sich. Die Quittierung des Brandalarms der HLK-Anlagen hat aus Sicherheitsgründen vor Ort beim Schaltschrank zu erfolgen.

Bei einem Brandalarm in der Tunnelzentrale wird der Tunnel nicht automatisch gesperrt. Eine Sperrung erfolgt manuell, wenn sicherheitsrelevante Anlagen in der Tunnelzentralen betroffen sind oder wenn die Erkundung der Ursache des Brandalarms einen Zugang über den Fahrraum erfordert.

Bei einem Stromausfall in der Tunnelzentrale werden die HLK-Anlagen teilweise durch das USV-Netz (Notstrom) in einem reduzierten Betrieb weiterbetrieben. Mindestens ein Ventilator (Abluft) der Lüftung Technikräume und die Steuerung / Regulierung müssen an das USV-Netz (Notstrom) angeschlossen werden, damit die Kühlung (nur mit Abluft aber ohne Kälteanlage) der Technikräume auch bei Stromausfall gewährleistet ist. Nach einem Stromausfall müssen die HLK-Anlagen wieder automatisch in Betrieb gehen.

3.3 Ereignis im Fahrraum

3.3.1 Erhöhte Abwärme

Bei einem Ereignis im Fahrraum (Brand) entstehen während Stunden bis Tagen grosse Abwärmemengen. Urheber sind zum Beispiel die Frequenzumrichter der Abluftventilatoren der Tunnellüftung.

In dieser Ausnahmesituation sind gegenüber den maximalen Raumlufttemperaturen aus Tabelle «4.1 Raumtemperaturen» höhere Werte zulässig. Die Funktion der elektrischen resp. elektronischen Geräte (Steuerung, Schaltgerätekombinationen) muss in jedem Fall gewährleistet werden können.

3.3.2 Koordination Beteiligte

Die Abführung der von Frequenzumrichtern (Abluftventilatoren) während eines Brandfalls abgegebenen Verlustwärme kann eine spezielle Kühlung erfordern. Dabei ist eine intensive Koordination mit dem Lüftungsplaner sowie der Lüftung Lieferant und Frequenzumrichter Lieferant nötig.

Die Koordination muss mindestens folgende Punkte beinhalten:

- Die Dauer des Ereignisses und die Abwärmemenge;
- Der Aufstellort der Frequenzumrichter (technischen Räumen, Ventilatorhalle);

- Überbrückung der Frequenzumrichter zur Reduzierung der Wärmeverluste;
- Die mögliche Nutzung des Luftvolumens der Ventilatorhalle;
- Die Entscheidung über die Art der Kühlung (Luft, Wasser) und Koppelung mit der HLK-Anlage.

3.3.3 Strömungskurzschlüsse

Der bei einem Ereignis freigesetzte und über das Portal oder den Abluftkamin abströmende Rauch, kann über die Aussenluftfassung der Raumlüftung angesaugt werden. Die Vermeidung solcher Strömungskurzschlüsse ist in der Planung zu berücksichtigen. Bei besonders gefährdeten Situationen (Abstand Luftfassung – Portal < 50 m) ist die Qualität der Aussenluft mittels Rauchmelder zu überwachen. Bei Rauchansaugung ist die HLK-Anlage im Umluftbetrieb zu betreiben.

Eine allfällige Anforderung zur Vermeidung einer Verschmutzung oder Verrauchung der Tunnelzentrale durch Tunnelluft mittels Überdruck gegenüber dem Fahrraum entfällt im Betriebszustand mit Umluftbetrieb.

4 Systemwahl / Anlageplanung

4.1 Grundsätze / Vorgehen

Das Realisierungspflichtenheft (RPH) beschreibt in konkreter Form, wie der Auftragnehmer (Unternehmer) die Anforderungen des Auftraggebers (ASTRA) zu lösen gedenkt. Der vom Auftraggeber beauftragte Fachplaner HLK-Anlagen beschreibt vorher im Lastenheft möglichst präzise die Gesamtheit der Forderungen. Erst wenn der Fachplaner HLK-Anlagen und der Auftraggeber das Realisierungspflichtenheft akzeptiert, darf die eigentliche Umsetzungsarbeit beim Auftragnehmer beginnen.

Um einen möglichst ökologischen und ökonomischen Betrieb gewährleisten zu können, sind wenn möglich bereits in den ersten Projektphasen unterschiedliche Konzepte vor allem betreffend Heizung / Kühlung zu erarbeiten und hinsichtlich Energieeffizienz, Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten zu vergleichen und zu optimieren.

Die Wirtschaftlichkeit der Erdregister (Baukosten im Vergleich zu Einsparungen Energie) muss geprüft werden. Bauliche Massnahmen wie Erdregister (erdberührter Kanal oder Rohre) für die Aussenluftfassungen müssen mit den zuständigen Bauingenieuren koordiniert werden.

Die für die Dimensionierungen der Luftmengen benötigten Abwärmewerte der elektromechanischen Komponenten in den Räumen der Tunnelzentralen sind durch die Elektro-Ingenieure anzugeben. Dabei sind möglichst realistische Abwärmewerte ohne «Angstzuschläge» (Reserven) und mit Gleichzeitigkeits-Faktoren anzugeben. Nur so kann vermieden werden, dass die HLK-Anlagen der Tunnelzentralen überdimensioniert werden und somit unnötige Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten entstehen. Die durch den Elektro-Ingenieur angegebenen Abwärmewerte sind durch den HLK-Ingenieur auf ihre Plausibilität zu prüfen.

Die Dimensionierung der Luftmengen erfolgt für den Normalbetrieb der HLK-Anlagen. Im Ereignisfall (z.B. Brand im Tunnel) können die Abwärmewerte in den Tunnelzentralen und somit auch die Raumtemperaturen kurzfristig höher sein.

4.2 Auslegungen

Das Raumlüftungskonzept muss einen energieeffizienten Betrieb sicherstellen. Betreffend den Luftwechselraten sind die Vorgaben der SIA 180 „Wärme und Feuchteschutz im Hochbau“ zu beachten.

Folgende Raumtemperaturen sind einzuhalten:

Tab. 4.1 Raumtemperaturen

Raum	Min. Temperatur	Max. Temperatur	Sollwert / Temperatur
HS- / NS-Anlage	12 °C	30 °C	Winter: 15 °C / Sommer: 25 °C
USV-Räume	12 °C	30 °C	Winter: 20 °C / Sommer: 25 °C
Batterieräume	15 °C	25 °C	Winter / Sommer: 20 °C
Traforäume	12 °C	40 °C	-
Leit- und Steuertechnik und OT-Infrastruktur	12 °C	30 °C	Winter: 15 °C / Sommer: 25 °C
Ventilatorhallen	12 °C	40 °C	-
Mobilfunk-Räume	12 °C	30 °C	-
Lager- / Nebenräume	12 °C	30 °C	-

Die minimalen Raumtemperaturwerte sind die Planungswerte für die Dimensionierungen der Heizungen. Die maximalen Raumtemperaturwerte sind die Planungswerte für die Dimensionierungen der Kühlungen. Bei kombinierten Räumen (zum Beispiel USV und Batterien im selben Raum) gelten die höheren Anforderungen.

Die relative Luftfeuchtigkeit in den Technikräumen der Tunnelzentralen muss zwischen 25 % und 80 % liegen. Es darf kein Tropfwasser (Kondensat) entstehen.

4.3 Lüftung

Die Tunnelzentralen und Technikräume dienen dazu, den Tunnel mit Energie, Luft und Licht zu versorgen, sowie die Kommunikation im Tunnel und gegen aussen sicherzustellen. Dies wird durch Transformatoren, elektrische Schaltanlagen, Ventilatoren und elektronische Steuerungen sichergestellt. Die elektrischen resp. elektronischen Apparate der Steuerungen verschiedener Anlagen in den Verteilschränken geben teilweise Wärme ab, die weggeführt werden muss, damit die Funktionen der Anlagen gewährleistet sind.

Durch den Verkehr im Tunnel, sowie auch durch das Lüftungssystem im Tunnel ist der Luftdruck nie konstant. Die auftretenden Druckdifferenzen sind bedeutend höher, als sie in normalen Lagen im Freien beobachtet werden. Der ständig wechselnde Druck, vor allem durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge führt dazu, dass Luft mit ihren Verunreinigungen in die technischen Räume eindringen kann. Das zu verhindern, ist unter anderem Aufgabe der Raumlüftung.

Zusammengefasst muss die Raumlüftung folgende Aufgaben erfüllen:

- Die anfallende Wärme in den Räumen abführen;
- Gegenüber dem Tunnel und gegen aussen in den Räumen dauernd bei jeder Betriebsbedingung einen Überdruck aufrecht zu halten;
- Die Zentralenräume mit Frischluft zu versorgen;
- Die umgewälzte Luft so zu konditionieren, dass die Raumtemperaturen und Raumfeuchtigkeitswerte in einem definierten Bereich gehalten werden können (siehe Tab. 4.1).

Diese Anforderungen sollen energetisch (siehe Kap. 4.7) und wirtschaftlich optimal realisiert und möglichst mit handelsüblichen Komponenten und Techniken erfüllt werden. Da die Anlageausrüstungen ganzjährig in Betrieb sind, müssen die HLK-Anlagen für den durchgehenden Betrieb ausgelegt sein. Die Ausfallsicherheit der HLK-Anlagen muss sehr hoch sein. Alle verwendeten Anlagenteile weisen eine lange Lebensdauer (grösser als 20 Jahre) auf und arbeiten möglichst energiegnstig. Die anfallende Abwärme wird im Winter zur Beheizung von Räumen mit Wärmedefizit wie Lagerräume etc. verwendet. Das Konzept der Anlagen ist so einfach wie möglich gestaltet und es wird auf einfachen Unterhalt geachtet.

Alle diese Forderungen zu erfüllen ist nicht einfach, weil sie sich teilweise gegenseitig ausschliessen (einfache robuste Bauweise nicht Energie optimiert oder komplexe Bauweise Energie optimiert). Deshalb wird nach untenstehenden Prioritäten vorgegangen:

- Sicherstellungen der Funktionen;
- Wirtschaftlichkeit (einfacher Unterhalt versus energiegnstiger Betrieb);
- Bauliche Vereinfachungen.

Zur Sicherheit gehört auch ein einfacher und überschaubarer Aufbau der HLK-Anlagen, damit Serviceeingriffe möglichst schnell und richtig durchgeführt werden können. Die HLK-Anlagen werden deshalb modular und in allen Tunnelzentralen möglichst mit den gleichen Elementen aufgebaut. Einzelne Module und Verschleissteile sind als zusätzliches Ersatzmaterial vorzusehen und werden durch den Unterhalt

gelagert. Bei der Apparateauswahl wird auf grösstmögliche Betriebssicherheit geachtet. Alle normalen Unterhaltsarbeiten (z. B. Filterwechsel) müssen ohne Werkzeuge ausgeführt werden können.

4.3.1 Raumgruppen

Aufgrund der anfallenden Wärme und der Sicherheitsfunktionen werden die in den Tunnelzentralen vorgesehenen Räume wie folgt in Raumgruppen (Nrn. 1 - 4) eingeteilt:

Tab. 4.2 Raumgruppen

Raum	Raumgruppe-Nr.	Bemerkungen
HS- / NS-Anlage	3	Räume mit mittlerer Abwärme
USV-Räume	1	Räume mit grosser Wichtigkeit und ständig hoher Abwärme
Batterieräume	4	Räume mit keiner oder kleiner Abwärme
Traforäume	2	Räume mit grosser Wichtigkeit und hoher oder stark variierender Abwärme
Leit- und Steuertechnik	3	Räume mit mittlerer Abwärme
Leit- und Steuertechnik mit OT-Infrastruktur	2	Räume mit grosser Wichtigkeit und hoher oder stark variierender Abwärme
Leit- und Steuertechnik mit FU's	2	Räume mit grosser Wichtigkeit und hoher oder stark variierender Abwärme
Ventilatorhallen	3	Räume mit mittlerer Abwärme
Mobilfunk-Räume	1	Räume mit grosser Wichtigkeit und ständig hoher Abwärme
Lager- / Nebenräume	4	Räume mit keiner oder kleiner Abwärme

Da nicht alle Räume die gleich grosse Abwärme aufweisen, wird das Konzept der Raumlüftung darauf ausgerichtet, Überschusswärme zur Beheizung der schwächer belasteten Räume zu verwenden, sowie generell zur Aufheizung der Aussenluft bei Heizbedarf.

Die Qualität der Abluft aus den Räumen ist ausser beim Batterie- und beim WC-Raum in der Regel so gut, dass die Luft direkt (ohne Austauscher) als Umluft wieder verwendet werden kann. Deshalb werden die HLK-Anlagen ohne Wärmerückgewinnungssysteme (wie zum Beispiel Platten- oder Rotationswärmetauscher) gebaut.

4.3.2 Lüftungstechnische Brandabschnitte

Aus lüftungstechnischer Sicht bilden die folgenden Zentralenräume separate Brandabschnitte:

- Traforäume;
- Batterieräume;
- Ventilatorhallen;
- Korridore (als Fluchtwege).

Räume wie HS- / NS-Anlage, USV-Räume, Lager- / Nebenräume können zusammengefasst als einen Brandabschnitt betrachtet werden.

4.3.3 Raumtemperaturfühler

Auf der untenstehenden Tabelle ist ersichtlich, welche Räume mit einem Raumtemperaturfühler ausgerüstet werden müssen.

Tab. 4.3 Raumtemperaturfühler

Raum	Fühler
HS- / NS-Anlage	Ja
USV-Räume	Ja
Batterieräume	Ja
Traforäume	Ja, pro Traforaum ein Fühler
Leit- und Steuertechnik	Ja
Ventilatorhallen	Nein
Mobilfunk-Räume	Ja
Lager- / Nebenräume	Nein

4.3.4 Lüftungen Technikräume

Alle Räume mit elektromechanischen Installationen werden mittels einem Lüftungsgerät mit Zuluft versorgt. Die Aussenluft wird im Freien angesaugt und nach Möglichkeit über erdberührte Kanäle oder Erdregister dem Zuluftgerät zugeführt. Je nach Wärmeanforderung wird die Aussenluft mit Umluft gemischt, filtriert, evtl. gekühlt und entfeuchtet oder nachgewärmt und vom Zuluftventilator in die Räume verteilt. Die Zuluftführung und die Luftfassung der Abluft in den Räumen mit elektrischen Schaltanlagen erfolgen mit Kanälen an der Decke, wobei eine Längs- oder Querströmung angestrebt wird. In Räumen mit hoher Abwärme werden aus dem Zuluftkanal ein oder mehrere Stichkanäle in den Doppelboden geführt.

Mindestens ein Ventilator (Abluft) soll an das USV-Netz (Notstrom) angeschlossen werden, damit die Kühlung auch bei Stromausfall gewährleistet ist. Die Zu- und Abluftventilatoren werden mit steiler Kennlinie vorgesehen, damit bei Ausfall eines Ventilators die Leistung des anderen noch ausreicht, um die Raumströmung (Kühlung) aufrecht zu erhalten.

Die Aussenluft-, Umluft- und Fortluftklappen im Lüftungsgerät werden stufenlos, temperaturgesteuert. Die Angebot-/ Nachfrageregelung steuert die Klappen zur Energierückgewinnung je nach der Enthalpie der Aussenluft/ Abluft. Bei Heizbedarf wird die Anlage in 1. Sequenz auf Umluft-Beimischung gefahren, vor Zuschaltung der Kältemaschine in 2. Sequenz als Wärmepumpe. Bei Kühlbedarf wird die Anlage in 1. Sequenz auf freie Kühlung gefahren, vor Zuschaltung der Kältemaschine für die mechanische Kühlung.

4.3.5 Lüftungen Traforäume

Die Trafos entwickeln eine stark schwankende Abwärme. Sie ist abhängig von der Belastung der Trafos, vor allem durch den Betrieb der Tunnellüftung. Die Lüftungen der Traforäume werden deshalb über die Raumtemperatur nach Bedarf einzeln freigegeben. Pro Traforaum ist ein Raumtemperaturfühler vorgesehen. Da für die Traforäume eine höhere Raumtemperatur (max. 40 °C) als für die übrigen technischen Räume (max. 30 °C) zugestanden wird, kann die Luftmenge kleiner gehalten werden. Die Zuluftanlage wird mit reiner Luftfilterung ohne weitere thermische Luftaufbereitung ausgerüstet. Die Lufteinführung erfolgt in den Traforäumen am Boden, die Abluftfassung an der Decke. Aus Sicherheitsgründen wird die Trafoabwärme nicht für die Luftaufwärmung der Anlage Technikräume genutzt. Die Fortluft wird über einen Kanalnetz direkt ins Freie geführt.

Trafo Räume können auch natürlich (durch Auftrieb der warmen Luft) mit Wetterschutzgittern in den Wänden belüftet werden. Dazu müssen die Trafo Räume aber oberirdisch mit Aussenwänden vorgesehen werden. Nachteil der natürlichen Lüftung ist die ungefilterte Aussenluft, welche in den Traforaum gelangt.

4.3.6 Lüftungen Batterieräume

Kommen wartungsarme (geschlossene) Batterien zum Einsatz, erhält der Batterieraum einen separaten Fortluftventilator mit Rohrnetz aus Kunststoff (PVC oder PP). Werden wartungsfreie (verschlossene) Batterien eingesetzt, kann der Fortluftventilator mit Rohrnetz auch aus verzinktem Stahlblech ausgeführt werden. Der Lufteintritt der Zuluft sollte in Bodennähe liegen oder die Zuluft direkt oder indirekt in Richtung Boden mit Lüftungsgittern ausblasen. Die Abluft sollte im Deckenbereich oder direkt über der Gasaustrittsstelle (also der Batterien) als Quellenabsaugung erfolgen. Die Fortluft wird ins Freie geführt oder in den Tunnel gefördert. Die Nachströmung erfolgt durch einen Kanal aus einem nebenliegenden Apparateraum oder direkt von der Zuluftanlage der Technikräume. Zur Vermeidung eines Lüftungstechnischen Kurzschlusses muss genügend Abstand zwischen den Zu- und Abluftöffnungen bestehen. Die Anlage muss nicht EX-geschützt ausgeführt werden und ist für Dauerbetrieb ausgelegt.

4.3.7 Lüftungen WC-Räume

Die WC-Räume werden mit einem separaten Ventilator entlüftet und die Fortluft nach Möglichkeit direkt ins Freie geblasen oder in den Tunnel gefördert. Die Einschaltung des Ventilators erfolgt über den Lichtkontakt mit Verzögerungsschaltung im WC oder über einen Bewegungsmelder.

4.4 Heizung

Auf eine mechanische Heizung der Technikräume ist möglichst zu verzichten. Die Technikräume werden im Heizfall über Erdregister (erdberührter Kanal oder Rohre) und über den warmen Abluft- bzw. Umluftanteil (Umluft-Beimischung) beheizt, welche über die Abwärme der Betriebseinrichtungen wie Schaltschränke etc. erwärmt wird.

Sollte der minimale Raumtemperatur-Wert in den Technikräumen mit den oben erwähnten Massnahmen nicht erreicht werden, muss eine mechanische Heizung (zum Beispiel mit einer Wärmepumpe) erfolgen.

Aus Sicherheitsgründen (Vandalenakte) sollten die mechanischen Heizungen mit Komponenten wie Ventilatoren, Motoren, Kompressoren, Register, etc. im Innern der Tunnelzentralen und nicht als Ausseneinheiten installiert werden. Der dafür nötige Platzbedarf in der Lüftungszentrale muss eingerechnet werden. Ebenfalls sind die Aussen- und Fortluftfassungen mit Wetterschutzgittern in den Fassaden zu berücksichtigen.

Die Neuinstallation ortsfester elektrischer Widerstandsheizungen zur Gebäudebeheizung ist nicht zulässig. Eine ortsfeste elektrische Widerstandsheizung darf nicht als Zusatzheizung eingesetzt werden. Eine Heizung gilt als Zusatzheizung, wenn die Hauptheizung nicht den ganzen Leistungsbedarf decken kann. Eine ortsfeste elektrische Widerstandsheizung ist ein fest mit einem Bauwerk verbundenes Heizgerät zur Erzeugung von Raumwärme, bei dem ein elektrischer Widerstand Wärme direkt oder an einen Energiespeicher (Speicher mit einem elektrischen Heizelement) abgibt.

4.5 Kühlung

Die Kühlung ausschliesslich mittels natürlicher Vorkühlung der Aussenluft durch Erdregister und dem kühleren Abluft- bzw. Umluftanteil (Umluft-Beimischung) sind in der Regel nicht ausreichend, können jedoch die Kühlleistungen und die Betriebszeiten mechanischer Kühlungen reduzieren.

Sollte die maximale Raumtemperatur von +30 °C in den Technikräumen mit den oben erwähnten Massnahmen (Erdregister und Umluft-Beimischung) überschritten werden, muss eine mechanische Kälteerzeugung erfolgen.

Die Kälteerzeugung muss unter Berücksichtigung des Jahresverlaufs Wärme/Kälte, der Abwärmenutzung und dem Freecooling integral konzipiert werden. Hierbei soll im Jahresverlauf die bestmögliche Energieeffizienz erzielt werden.

Bei neuen Kühlsystemen müssen zwingend Konzepte ohne Kältemaschine, also mit reinem Freecooling, über Erdsonden, Hybridkühler, Wasser, etc. geprüft werden.

Ergeben diese Abklärungen, dass trotzdem eine Kältemaschine erforderlich ist, sind für deren Planung die Vorgaben der Norm SIA 382/1 zu berücksichtigen.

Es müssen Berechnungen über die anfallenden Wärmelasten sowie über das natürliche Kühlvermögen des Gebäudes (über die Betonoberflächen) gemacht werden.

Pro Tunnelzentrale soll nur eine zentrale Kältemaschine eingesetzt werden.

Einzelne Räume mit hoher Abwärme wie zum Beispiel Serverräume, Mobilfunkräume oder USV-Räume können in Spezialfällen auch mit Umluft-Kühlgeräten (Klima-Schränken) direkt gekühlt werden.

Aus Sicherheitsgründen (Vandalenakte) sollten die mechanischen Kühlungen mit Komponenten wie Ventilatoren, Motoren, Kompressoren, Register, etc. im Innern der Tunnelzentralen und nicht als Ausseneinheiten installiert werden. Der dafür nötige Platzbedarf in der Zentrale muss eingerechnet werden. Die Aussen- und Fortluftfassungen sind in den Fassaden mit Wetterschutzgittern zu berücksichtigen. Für das durch die Kühlungen entstehende Kondensat müssen Bodenabläufe vorgesehen werden.

4.6 Befeuchtung / Entfeuchtung

Eine Be- oder Entfeuchtung der Zuluft ist im Normalfall nicht vorzusehen.

Bei den HLK-Anlagen von Tunnelportalzentralen und von Mittelzentralen (Aussenluftansaugung über einen WLK) muss in jedem Fall der Platzbedarf und die entsprechenden Leerteile im Lüftungsgerät vorgesehen werden, damit die Nachrüstungen mit mechanischer Entfeuchtung zu einem späteren Zeitpunkt immer problemlos realisiert werden könnten. Der bei einer nachträglichen Ausrüstung benötigte zusätzliche Strombedarf muss als Reserve vorhanden und eingeplant sein.

Unterirdische Betonkonstruktionen sind grundsätzlich anfällig auf Kondensat im Sommer. Bei neu erstellten Bauwerken muss vor der Installation der elektromechanischen Anlagen mit Entfeuchtern dafür gesorgt werden, dass die Betonfeuchte möglichst klein wird. Die Erfahrung zeigt, dass Kondensat normalerweise nur in den ersten Jahren nach dem Bau der Räume auftreten. Bei bestehenden Tunnelzentralen mit bereits installierten HLK-Anlagen sollten in den Räumen kein Kondensat auftreten.

4.7 Energieeffizienz

Um die Energieeffizienz der Kühlungen / Heizungen für die Betriebseinrichtungen in ökonomischer und ökologischer Hinsicht zu verbessern, muss der Einsatz regenerativer Energiequellen (wie zum Beispiel Geothermie) geprüft werden.

4.7.1 Erdregister (erdberührter Kanal oder Rohre)

Die Aussenluftfassungen der Raumlüftungsanlagen erfolgen über Erdregister (erdberührte Kanäle). Dadurch kann im Winter bei Heizbedarf ein Vorheizeffekt und im Sommer bei Kühlbedarf ein Vorkühleffekt erzielt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Erdregister (Baukosten vs. Einsparungen Energie) muss geprüft werden.

Ein Werkleitungskanal oder Sicherheitsstollen kann energetisch als Erdregister für die HLK-Anlagen betrachtet werden.

4.7.2 Umluft-Beimischung

Die Aussenluft-, Umluft- und Fortluftklappen in den Raumlüftungsanlagen werden stufenlos temperaturgesteuert. Die Angebot- / Nachfragereregulierungen steuern die Klappen zur Energiegewinnung je nach Enthalpie (Wärmeinhalt) der Aussen- und Abluft. So kann zum Beispiel im Winter die kalte Aussenluft mit wärmerer Abluft aus den Räumen der Betriebszentralen gemischt werden.

4.7.3 Ventilatoren Lüftungen Technikräume

Bei Anlagen > 3'000 m³/h sind für die Regulierungen der Luftmengen Volumenstromregler einzusetzen. Die Zu- und Abluftkanäle aller Räume mit Abwärmelasten wie USV-Raum, NS-Raum, HS-Raum, etc. erhalten variable Volumenstromregler für den aufgrund der Raumtemperaturen bedarfsgeregelten Volumenstrom. Die Räume ohne Abwärmelasten und Nebenräume werden mit kleineren Luftmengen konstant (mit Konstantvolumenstromreglern) belüftet. Die Zu- und Abluftventilatoren sind drehzahlreguliert mit Frequenzumformern.

4.7.4 Kälteanlagen / Wärmepumpen

Erst wenn die Leistungen der Erdregister und die Umluft-Beimischungen nicht ausreichen, um die gewünschte Zuluft-Temperatur zu erzielen, werden die Kälteanlagen / Wärmepumpen in Betrieb genommen. Durch diese Massnahmen können die Betriebszeiten der Kälteanlagen / Wärmepumpen reduziert werden und somit wird der Stromverbrauch verkleinert. Zusätzlich können so die Kälteanlagen / Wärmepumpen kleiner dimensioniert werden. Die Kompressoren der Kälteanlagen / Wärmepumpen sowie die dazugehörenden Ventilatoren sind drehzahlgesteuert und werden nach Bedarf geregelt.

Die Kälteanlagen / Wärmepumpen müssen die EER/COP-Werte gemäss SIA 382/1 erfüllen. Der COP-Wert ("Coefficient of Performance"), gibt das Verhältnis der durch die Wärmepumpe erzeugten Wärme zu der dazu nötigen Antriebsenergie (Strom) an. Der EER-Wert (Energy Efficiency Ratio), gibt das Verhältnis der durch die Kältemaschine erzeugten Kälte zu der dazu nötigen Antriebsenergie (Strom) an.

Der ODP-Wert für das eingesetzte Kältemittel der Kälteanlagen / Wärmepumpen muss 0 betragen. Das ODP (Ozone Depletion Potential = Ozonabbaupotenzial) ist ein Wert, der die schädlichen Auswirkungen auf die Ozonschicht in der Stratosphäre durch einen chemischen Stoff verdeutlicht. Es handelt sich um einen relativen Wert, der die Auswirkungen eines chemischen Stoffes mit den Auswirkungen der im Montreal-Protokoll mit dem ODP-Wert 1 festgelegten Substanz Trichlorfluormethan (R11) vergleicht.

Bei der Wahl des vorgesehenen Kältemittels für die Kälteanlagen müssen zwingend die jeweils aktuellen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnungen (ChemRRV SR

814.81) mit den Regelungen zum Inverkehrbringen stationärer Anlagen mit Kältemitteln beachtet und angewendet werden.

4.7.5 Unterschiedliche Sollwerte Raumtemperaturen (Sommer- / Winterumschaltung)

Zwecks Energieeinsparungen sollen die Raumtemperatursollwerte der Technikräume im Sommer generell +25 °C und im Winter +15°C (Hysterese fix 10 K) betragen. Der Winterbetrieb (z.B. von Anfang November bis Ende März) kann automatisch fix via die elektronischen Steuer- und Regelsysteme für die HLK-Anlagen aktiviert und deaktiviert werden. Oder der Winterbetrieb wird automatisch aktiviert, wenn der Aussentemperaturfühler eine mittlere Tagestemperatur von < + 12 °C misst.

4.7.6 Effiziente Kühlungen von Schaltschränken in technischen Räumen

In Räumen mit hohen Abwärmelasten wie USV-Raum, NS-Räume, etc. werden aus dem Zuluftkanal ein oder mehrere Stichkanäle in den Doppelboden geführt. Die gekühlte Luft durchströmt so die Schaltschränke mit ihren internen Wärmequellen und kühlt diese effizient.

4.7.7 USV-Räume

Im USV-Raum wird die Zuluft über den Doppelboden eingeführt und die Abluft direkt über der USV-Anlage erfasst. Dadurch wird der Raum weniger schnell erwärmt.

4.8 Steuerungen, Regulierungen

Aufgaben, Systemaufbau und genaue Leistungsbeschreibungen der elektronischen Steuer- und Regelsysteme für die HLK-Anlagen gemäss dem Massnahmen- oder Detailprojekt.

4.8.1 Schaltschränke

Ein Schaltschrank pro Zentrale wird mit einem farbig graphischen Bedienterminal (Touch-Screen) für die Anzeige einfacher Prozessbilder versehen. Jedes Feldgerät (Brandschutzklappe, Ventilator, Raumfühler usw.) ist in den Systembildern mit Betriebs- und Störungsanzeigen sowie Betriebsschaltern darzustellen. Die Brandschutzklappen und alle motorisierten Klappen sind mit ihren aktuellen Stellungen anzuzeigen. Die gemessenen Fühlerwerte der Temperaturen, Feuchte und Drücke sind ebenfalls anzuzeigen. Die Kälteanlagen / Wärmepumpen sind als Systembild darzustellen und die Betriebs- und Störmeldungen deren separaten Steuerungen sind zu übernehmen. Alle aktuellen und vergangenen Betriebs- und Störmeldungen werden auf dem graphischen Bedienterminal aufgelistet.

4.8.2 Steuer- und Regelsystem

Die elektronischen Steuer- und Regelsysteme für die HLK-Anlagen müssen autonom funktionieren. Nach einem Stromausfall müssen die HLK-Anlagen und deren Steuer- und Regelsysteme automatisch wieder in Betrieb gehen. Bei einem Brandalarm durch die Gebäude-BMA müssen die entsprechenden Taster «Brandalarm» aus Sicherheitsgründen vor Ort auf dem Schaltschrank quittiert werden.

4.8.3 Messwerte und Meldungen

Folgende Messwerte werden durch die elektronischen Steuer- und Regelsysteme für die HLK-Anlagen laufend erfasst und rückwirkend für ein Jahr im 1/4h Takt (alle 15 Minuten) aufgezeichnet:

- Raumtemperaturen der Technikräume wie Trafos, USV-Raum, Batterieraum, NS-Raum, MS-Raum, etc.
- Temperatur- und Feuchte-Werte der Aussen-, Zu- und Abluft.

- Energieverbrauch (kWh), wobei der Verbrauch der Kälteanlagen / Wärmepumpen getrennt vom Gesamtverbrauch der HLK-Anlagen separat ersichtlich sein muss.
- Betriebsstundenzähler.
- Alle Betriebs- und Störmeldungen.

Die Messwerte müssen als Kurven auf dem graphischen Bedienterminal (Touch-Screen) darstellbar sein sowie als Datensätze im 1/4h Takt (alle 15 Minuten) ausgelesen werden können. Die elektronischen Steuer- und Regelsysteme für die HLK-Anlagen müssen genügend Speicherkapazitäten für die Aufzeichnungen der Messwerte für ein Jahr aufweisen. Die Messdaten dienen dazu, die Anlagen während dem Betrieb zu optimieren. Die Regelparameter und Sollwerte werden vor Ort eingegeben.

4.8.4 Anbindung Leitsystem UeLS

Die Anbindungen der Steuerungen an die Betriebsleitebene (UeLS, übergeordnetes Leitsystem) erfolgen über den Abschnittsrechner (AR) via der Anlagensteuerung (AS) Nebeneinrichtungen oder Diversanlagen.

Für die Meldungen und Datenpunkte gelten die Richtlinien 13032 Engineering der BSA Daten.

5 Technische Spezifikationen

5.1 Materialanforderungen

Die zum Einsatz kommenden Materialien der HLK-Komponenten haben den Normen, Richtlinien und Weisungen unter Kapitel 1.3, Grundlagen in diesem Dokument zu genügen.

5.2 Korrosion und Oberflächenbehandlungen

Die allgemeinen Anforderungen an die Anlageteile richten sich grundsätzlich nach deren Aufstellungs- und Installationsstandort. Die klimatischen Bedingungen mit nicht aggressiver / aggressiver Atmosphäre durch Immissionen von der Fahrbahn (Salz) sind im Technischen Merkblatt Bauteile, Themen 23 001-12210, Zonen / Klimatische Bedingungen aus dem ASTRA Fachhandbuch BSA definiert. Die Konstruktionen und der Oberflächenschutz aller Bestandteile haben mindestens den Anforderungen für die Zone 40 (Betriebsräume) gemäss vorerwähntem Merkblatt zu genügen.

Nach der Montage der HLK-Anlagen sind allenfalls beschädigte Oberflächenschütze auszubessern. Alle Befestigungselemente wie Schrauben, Muttern, Unterlagscheiben, Haken etc. müssen aus feuerverzinktem Stahl bestehen.

5.3 Monoblockgeräte

Die Apparategehäuse der Monoblockgeräte sind in solider doppelwandiger Metallkonstruktion mit dazwischen liegender Isolation, innen und aussen sendzimirverzinkt und pulverbeschichtet vorzusehen.

Anforderungen an die Monoblockgeräte allgemein:

- Geräteauslegung nach SIA 382;
- Der Geräteaufbau hat der Hygienerichtlinie SWKI VA 104-01 (VDI 6022) zu entsprechen;
- Die Geräte-Dämmstärke hat vollumfänglich den Anforderungen gemäss SIA 382/1 zu entsprechen;
- Verschalungsbleche innen und aussen sendzimirverzinkt und pulverbeschichtet min. 100 mm;
- Scharniere und Verschlüsse in V2A/Kunststoff;
- Entwässerungswannen sowie Verbindungs- und Befestigungsmaterial für die Einbauteile in V2A;
- Manschettenrahmen verzinkt;
- Schauglas und Beleuchtung bei Ventilator und Kältemaschine / Wärmepumpe.

Für die gute Zugänglichkeit zu den eingebauten Teilen müssen dicht schliessende Türen vorhanden sein. Schwingungsdämpfer zwischen Geräten und Fundamentplatten sowie Flex.-Manschetten an den Saug- und Drucköffnungen der Apparategehäuse gehören zum Lieferumfang. Bei der Auswahl der Monoblockgeräte sind den vor Ort ersichtlichen Platzverhältnissen Rechnungen zu tragen.

Die Monoblockgeräte sind mit Sockelrahmen und Verstell-Füsse zu liefern. Die Revisionstüren sind mit Scharnieren und Verschlüssen auszurüsten.

5.4 Umluft-Kühlgeräte

Umluft-Kühlgeräte (Klimaschränke) bestehend aus:

- Gehäuse pulverbeschichtet;
- Luftansaugung von oben;
- Ventilatoren mit Motor;
- Umluftfilter;
- KW-Kühlerbatterie;
- Schaltschrankteil mit Mikroprozessorregulierung.

Beim Einsatz eines Umluftkühlgerätes (ULK) sind diese mit gut zugänglichen, mechanischen Schiebern zur Sperrung der Kühlwasserleitungen auszurüsten.

In Räumen mit OT-Infrastruktur: Unter den ULK's sind Wasserauffangwannen (Höhe mind. 5 cm) eingebaut. Die Wasserwannen decken alle Schieber und Verschraubungen der Kühlleitungen und der ULK ab.

5.5 Gliederklappen

Sämtliche Klappen sind als Gegenlaufgliederklappen, luftdicht nach DIN 1946 auszuführen. Bei automatischen Klappen pro Klappenvorrichtung ein Antriebsmotor. Freies herausgeführtes Wellenende für den motorischen Antrieb, inkl. Gestänge. Ausserhalb des Klappengehäuses muss die Klappenstellung eindeutig und dauerhaft sichtbar sein. Bei Handeinstellklappen müssen diese ohne Werkzeug einstellbar sein.

5.6 Druckentlastungsklappen

Lamellen über ein aussenliegendes Gestänge gleichlaufend gekoppelt und mittels Gegengewichtes auf einfache Art und Weise verstellbar. Die Feineinstellung muss für Be- und Entlastung möglich sein. Die Lamellen sind in der Ruhestellung geschlossen. Bei einem Anstieg des Druckes über den vorgegebenen Wert öffnen sich die Lamellen und gehen nach einem Abfall des Druckes selbsttätig wieder in ihre Ausgangsposition zurück.

5.7 Luftfilter

Taschenluftfilter in Güteklasse EU4 für Vorfilter und EU8 für Feinstaubfilter nach EN 779/SWKI-84. Es ist auf eine lange Standzeiten der Filter zu achten. Es sind Filter mit Glasfasermedium oder andere Filtermaterialien einzusetzen, welche nicht mit einer elektrostatischen Ladung versehen sind, um einen bleibend guten Wirkungsgrad zu erreichen. Zur Überwachung der Filter sind Filterwächter mit Anzeigen und Kontakte (Differenzdruckmessungen) vorzusehen. Die anzeigenden und schaltenden Geräte sind auf der Revisionsseite mit Aufbaukonsolen angebaut.

5.8 Ventilatoren

Ventilatoren als freilaufende Radiallaufräder im Monoblockgerät fertig eingebaut. Ventilatorlaufrad mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln direkt auf EC-Aussenläufermotor für Betrieb mit elektronischer Kommutierungseinheit (< 5'000 m3/h) oder auf IEC-Drehstrommotor für Betrieb mit Frequenzumrichter (> 5'000 m3/h) montiert.

Ventilatoranforderungen und Zubehör:

- Spezifische Ventilatoren-Leistung inkl. FU-Wirkungsgrad entspricht den Grenzwert Vorgaben der SIA 382/1;
- Ventilator-Einbausatz sendzimirverzinkt und pulverbeschichtet 80 - 100 µm;

- Ventilator Laufrad Stahl teilgeschweisst und pulverbeschichtet min. 100 µm;
- Ventilator-Nabe Alu oder Stahl lackiert;
- Ventilator-Einlaufdüse Stahl beschichtet 80 µm;
- Ventilator-Welle und Schrauben in V2A;
- Ventilator-Tragkonstruktion Stahl beschichtet 80 µm;
- Volumenstrom-Messvorrichtung, Messleitungen nach aussen auf 2 Messstutzen geführt.

5.9 Motoren allgemein

Betriebsspannung: 400 V 3/N ~ 50 Hz

Steuerspannung: 230 V~ 50 Hz

Bauart: Drehstrommotoren IEC-Norm, B3, IP 44 entsprechend der Wirkungsgradklasse EFFH, Motoren für Drehzahlsteuerung mit Kaltleiter. EC-Motoren Effizienzklasse IE3 oder IE4.

5.10 Lüftungskanäle

Dazu gehören sämtliche in Blech ausgeführten Kanalstücke, Druckstutzen und Saugkonen der Geräte, Verbindungsstücke, Leitbleche sowie das erforderliche Verbindungs-, Befestigungs- und Aufhängematerial. Das Erdungskonzept ist zu berücksichtigen.

5.10.1 Ausführung der Blechkanäle

Sämtliche Bogen sind mit einer ausreichenden Zahl von Leitblechen zu versehen oder der Krümmungsradius muss mindestens 1 D betragen. Zur gleichmässigen Luftverteilung sind alle notwendigen Reguliereinrichtungen einzubauen. Die Kontroll- und Messdeckel sind in genügender Zahl vorzusehen.

5.10.2 Material

Verzinktes Stahlblech, alle Schnittkanten mit Kaltverzinkung nachbehandelt. Als Variante kann Aluman verwendet werden. Dabei sind alle Aufhängungen und Befestigungen wegen der Gefahr der Elementbildung galvanisch zu isolieren (Gummi-Unterlagen).

5.10.3 Blechstärken

Grössere Kanalbreite	Blechstärke
in mm	in mm
bis 200	0,56
201 bis 400	0,62
401 bis 1'000	0,75
1'001 bis 1'500	0,87
1'501 bis 2'500	1,00
über 2'501	1,25

Bei über 500 mm Kanalbreite sind die Kanäle mit Verstärkungen auszuführen.

5.11 Verbindungen

5.11.1 Kanäle

Grundsätzlich sind immer Rahmenverbindungen zu wählen, welche die geforderte Dichtheit aufweisen.

5.11.2 Rohre

Flansch- oder Klebeverbindungen. Die Klebeverbindungen müssen alterungs- und bis zu Lufttemperaturen von 60 °C beständig sein.

5.11.3 Spezielle Kanäle

Die Kanäle für HLK-Anlagen mit Kanalnetzdrücken über 400 Pa müssen dicht erstellt und montiert werden. Sie haben der Dichtheitsklasse nach Eurovent 2/2, Klasse C, zu genügen. Der Leckluftstrom darf max. 3 % des Nennvolumenstromes betragen. Die Dichtheitsklasse richtet sich somit nach der Ausdehnung der Kanalnetze. Der Bauherr und der Planer sind berechtigt, Dichtigkeitsproben anzufordern.

5.12 Abhängungen

Kanäle und Rohre müssen mit Körperschallabhängern an der Decke befestigt werden.

5.13 Durchführung durch Wände und Decken

Kanäle und Rohre werden mit 10 mm Mineralwollplatten umschlossen, Raumgewicht 80 kg/m³, beidseitig 10 cm überstehend.

5.14 Isolation von Kanälen

Gemäss der SWKI Richtlinie 92-2B im Spezifikationsteil A3.7, Dämmungen Luftleitungen. Sämtliche Aussenluftkanäle und Fortluftkanäle der WP-/Kälteanlage sind gegen Kondensatbildung thermisch aussen zu isolieren. Bei der Wahl des Isolationsmaterials sind die örtlichen feuerpolizeilichen Vorschriften VKF zu berücksichtigen.

Brandschutzisolationen gemäss der örtlichen feuerpolizeilichen Vorschriften VKF und geprüft nach EN 1366-1:2014 und EN 15882-1+A1:2017.

5.15 Schalldämpfer

Zur Dämmung der Geräusche der HLK-Anlagen sind Schalldämpfer in Kulissenbauart vorzusehen.

5.15.1 Kulissenaufbau

Umlaufender, stabiler Rahmen aus verzinktem Stahlblech beidseitige Abdeckung aus verzinktem Lochblech. Füllung aus nicht brennbarer und nicht hygroskopischer Mineralwolle. Eingelegtes Glasvlies als Rieselschutz, abriebfest bis Durchtrittsgeschwindigkeiten von 20 m/s. Bei Durchtrittsgeschwindigkeiten über 10 m/s sind die Kulissenrahmen auf der Eintrittsseite mit halbrunder, strömungsgünstiger Abdeckung auszurüsten.

5.15.2 Gehäuseaufbau

Für Kanalschalldämpfer verzinktes Blech mit beidseitigen Rahmen und entsprechend verbohrten Gegenrahmen.

5.16 Lüftungsgitter

5.16.1 Zuluft-Gitter

Diffusionsgitter mit horizontalen und vertikalen Luftleitlamellen und gekuppelter gegenläufiger Mengenregelung.

5.16.2 Abluft-Gitter

Diffusionsgitter mit vertikalen Luftleitlamellen und gekuppelter gegenläufiger Mengenregelung.

5.16.3 Abluftventile

Es sind steckbare Tellerventile in Kunststoff einzusetzen.

5.16.4 Wetterschutzgitter

Ausführungen in rostfreien Stahl V4A, We 1.4435 oder 1.4571 im Verkehrsraum und We 1.4401 im Freien, mit Vogelschutzgittern, kleiner Druckverlust und niedriger Geräuschpegel. Materialwahl allfälliger Mauerrahmen mit Befestigungen entsprechend den Wetterschutzgittern.

5.17 Brandschutzklappen

Diese sind in rauchdichter und feuerverzinkter Ausführung vorzusehen. Die Konstruktion muss VFK-geprüft sein.

Aufzuweisender Feuerwiderstand: EI-90.

Brandschutzklappen steckerfertig mit VKF-Zulassung und integriertem Sicherheitssystem, geeignet zum Absperrn von Brandabschnitten in HLK-Anlagen. Betriebszustandsmeldungen und Funktionsstörungen werden optisch auf dem Steuergerät (im Schaltschrank) angezeigt. Der Ausfall des thermoelektrischen Auslösers (> 72°C) oder eines allfälligen Rauchmelders wird über eine separate Leuchtdiode angezeigt. Stromversorgung und Datenkommunikation über 2-Drahtleitung.

Brandschutzklappen bestehend aus:

- Brandschutzklappe EI-90;
- Federrücklaufantrieb 24 V;
- Anschluss- und Kommunikationsgerät;
- Thermoelektrischer Auslöser;
- Rauchmelder (optional).

Für die Montagen und Zugänglichkeiten gelten die brandschutztechnischen Vorschriften der Feuerpolizei (VKF) bzw. der Brandschutzrichtlinie für lufttechnische Anlagen vollumfänglich.

5.18 Volumenstromregler

5.18.1 Variable Volumenstromregler

Bestehend aus den mechanischen Bauteilen und den elektronischen Regelkomponenten. Geräte enthalten einen Mittelwert bildenden Differenzdrucksensor zur Volumenstrommessung und Regelklappen.

5.18.2 Konstante Volumenstromregler

Bestehend aus dem Gehäuse mit leichtgängig gelagerter Regelklappe, Regelbalg und aussenliegender Kurvenscheibe mit Blattfeder. Volumenstromregler sind werkseitig auf einen Referenz-Volumenstrom eingestellt (Einstellung des gewünschten Volumenstromes an einer Skala).

5.19 Beschriftungen

Die Beschriftungen aller Anlagenteile, Apparate, Feldgeräte und Komponenten haben grundsätzlich nach der RL 13013 AKS-CH und dem Technischem Merkblatt Bauteile, Themen 23 001-12230, Beschriftungen Ausführung aus dem ASTRA-Fachhandbuch BSA zu erfolgen.

6 Anlagentest

Der Anlagentest gemäss der Richtlinie ASTRA 13028 Kontrollen und Test der BSA ist ein komplexer Vorgang. Dieser benötigt eine gute Planung und eine nachvollziehbare Dokumentation, weil viele Experten und Gewerke beteiligt sind. Die Einhaltung des Terminprogramms ist deshalb für alle Gewerke von zentraler Bedeutung und ebenso wichtig.

6.1 Vorbereitung Inbetriebnahme (IBN)

Darunter versteht sich das Vorbereiten einer fertig erstellten HLK-Anlage für den ersten Start. Das heisst: Die HLK-Anlage wird in bestimmten Arbeitsschritten in einen betriebsbereiten Zustand gebracht.

Die Arbeitsschritte der Vorbereitung sind:

- Überprüfungen von Komponenten und Systemen der Anlage (Funktionsprüfungen von Motorklappen, Ventilatoren, Fühler, etc.);
- Überprüfungen von Einbau und Funktionen der Sicherheitseinrichtungen wie Brandschutzklappen oder Verbindungen von der HLK-Anlage zur Brandmeldeanlage der Tunnelzentrale;
- Einstellungen (Justierungen) dieser Komponenten und Systeme;
- Überprüfungen der gesamten HLK-Anlagen gemäss vorgesehenem technologischem Ablauf (Start und Betrieb, Störungen, Neustart nach Stromunterbruch, Anlagebetrieb unter USV-Netz, etc.).

6.2 Inbetriebnahmen

Darunter versteht sich das erstmalige Betreiben (Erstinbetriebnahme) einer HLK-Anlage. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um den Probebetrieb einer komplexen HLK-Anlage oder den ersten Betrieb mit anschliessender Übergabe der HLK-Anlage handelt.

6.3 Zuständigkeiten

Befugnisse und Verantwortungen müssen klar geregelt sein. Vor allem dann, wenn mehrere Unternehmer eine HLK-Anlage gemeinsam in Betrieb nehmen oder keine vollumfänglichen Beauftragungen vorliegen. In diesem Fall ist der Unternehmer für die Gebäudeautomation (Regulierung der HLK-Anlage) im Lead. Zusammen mit dem Fachbauleiter / technischen Koordinator und der Bauleitung muss er die einzelnen IBS- und IBN-Arbeiten koordinieren und terminieren.

6.4 Terminplan

Für den Anlagentest braucht es einen detaillierten Terminplan. In diesem Plan sind alle Tätigkeiten und Meilensteine vermerkt. Die wichtigsten Meilensteine sind ausserdem Bestandteil des Gesamtbauprogramms bzw. Abnahme- und Übergabeprozesses. Bei grösseren HLK-Anlagen können die Arbeitsschritte der einzelnen Gewerke zeitlich nicht klar getrennt werden. Manche Schritte gehen fliegend ineinander über oder sie überschneiden sich.

6.5 Funktion- und Leistungsprüfung

Sobald die HLK-Anlage laufen, sind die Funktionen (Start und Betrieb, Störungen, Neustart nach Stromunterbruch, Anlagebetrieb unter USV-Netz, Anlageabschaltung durch Brandmeldeanlage der Tunnelzentrale, etc.) zu testen und die Leistungen (Volumenströme, Drehzahlen von Ventilatoren, Stromaufnahmen von Motoren, etc.) zu messen. Diese Arbeiten müssen nachvollziehbar dokumentiert und im Anlagentest-Protokoll festgehalten werden.

6.6 Messgrößen

Die Luftvolumenströme sind eine entscheidende Grösse für eine korrekte Inbetriebnahme. Auch weitere Werte können wichtig sein, z.B. die Ergebnisse von Schall- und Strömungsmessungen. Solche Messungen erfordern präzise Messgeräte und Fachkenntnisse eines Spezialisten.

Umfang der Messungen und Kontrollen:

- Wärmeleistungen (Luftherhitzer);
- Kälteleistungen (Luftkühler, Umluftkühler);
- Erreichen von Systemtemperaturen;
- Wirkungsgrad Wärmerückgewinnung;
- Stromaufnahmen;
- Drehzahlen Ventilatoren;
- Luftvolumenströme (gesamte Anlage, Hauptstränge, Räume, Ein- und Auslässe);
- Dichtheitsklassen (Kanäle- und Rohrnetze);
- Raumüber-, -gleich- oder -unterdruck;
- Raumluftgeschwindigkeiten;
- Schallpegelwerte (im Inneren der Tunnelzentrale und Aussen bei den Wetterschutzgittern in den Fassaden);
- Raumluftfeuchten;
- Raumtemperaturen.

7 Betrieb und Erhaltung

7.1 Optimierung

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Anlage-Einzeltests, Anlage-Verbundtests und Objekt-Tests und der integralen Tests erfolgt ein Probetrieb, welcher normalerweise 2 bis 3 Monate dauert.

Nach den Inbetriebnahme der HLK-Anlagen müssen die Messwerte / Parameter bei Winter- und Sommerbedingungen durch den Unternehmer nochmals überprüft, gemessen und nach Bedarf optimiert werden. Folgende Messwerte / Parameter müssen erfasst und ausgewertet werden:

- Aussen-, Zu- und Abluft-Temperaturen;
- Feuchte-Werte der Aussen-, Zu- und Abluft;
- Raumtemperaturen der Technikräume wie Trafos, USV-Raum, Batterieraum, NS-Raum, MS-Raum, etc.;
- Luftmengen (konstante und variable) der HLK-Anlagen;
- Messwerte der Druckfühler wie Zu- und Abluftkanal, Überdruck WELK, Überdruck Tunnelzentrale gegenüber Aussen;
- Schallpegelmessungen bei Aussen- und Fortluftfassungen;
- Energieverbrauch (kW/h), wobei der Verbrauch der Kälteanlagen / Wärmepumpen getrennt vom Gesamtverbrauch der HLK-Anlagen separat ersichtlich sein muss;
- Stromaufnahmen der einzelnen HLK-Komponenten;
- Betriebsstunden der einzelnen HLK-Komponenten;
- Alle Betriebs- und Störmeldungen.

Für die energetische Betriebsoptimierung müssen dem Betreiber die dazu nötigen Parameter der HLK einfach zugänglich sein, um bei Bedarf diese auch ohne Hersteller korrigieren zu können.

7.2 Wartung

Die Lebensdauer von HLK-Anlagen hängt wesentlich von der Instandhaltung ab. Der Service dieser Anlagen muss jährlich, bei bestimmten Komponenten wie beispielsweise Filter halbjährlich gemacht werden.

Regelmässige Wartungsarbeiten sind daher ein wichtiger Faktor einer robusten und wirtschaftlichen HLK-Anlage. Die Wartung hilft:

- die Energiekosten zu senken;
- die Verfügbarkeit sicherzustellen;
- die Lebensdauer zu erhöhen;
- die Hygiene zu gewährleisten – besonders wichtig für Luftfilter und Wärmetauscher von luftgekühlten Anlagen;
- die Umwelt zu schützen;
- Störungen vorzubeugen;
- die Kosten verlässlich zu planen (besonders auch mit einem Wartungsvertrag).

Betrieb und Unterhalt der HLK-Anlagen der Tunnelzentralen müssen gemäss der SIA 382/1 erfolgen.

In den Beschaffungen / Ausschreibungen der HLK-Anlagen sind über die Garantiezeit von 3 Jahre die Wartungen der HLK (als Wartungsvertrag) auszuschreiben.

Die Wartung der HLK muss durch die Gebietseinheit sichergestellt werden können. Die dazu nötigen Wartungsunterlagen müssen dem Betrieb zur Verfügung stehen, um bei Bedarf diese auch ohne Hersteller oder mit externer Unterstützung durchführen zu können.

7.3 Rückbau und Entsorgung

Die im Kapitel 8 der Norm SIA 382/1 genannten Aspekte von Rückbau und Entsorgung sind bereits in der Planung zu berücksichtigen.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AKS-CH	Anlagenkennzeichnungssystem Schweiz
AR	Abschnittsrechner
AS	Anlagensteuerung
BSA EES	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) <i>équipements d'exploitation et de sécurité (EES)</i>
COP	Coefficient of Performance Leistungszahl einer Wärmepumpe
DS	Abteilung Digital Service
EER	Energy Efficiency Ratio Effizienz von Klimaanlage
EP	Erhaltungsplanung
FU	Fachunterstützung
FU	Frequenzumrichter
HS	Hochspannung
IBN	Inbetriebsetzung
IBS	Inbetriebnahme
NS	Niederspannung
ODP	Ozon Depletion Potential Ozonerstörungspotential
OT	Operation Technologie
PM	Projektmanagement
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
SIA	Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (Normen)
UARS	Bereich Unternehmensarchitektur und Standards
UELS	Übergeordnetes Leitsystem
ULK	Umlenkklappe
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VKF	Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen
WELK	Werkleitungskanal

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA, „**Lüftung der Strassentunnel**“, *Richtlinie ASTRA 13001*, www.astra.admin.ch.
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA, „**Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln**“, *Richtlinie ASTRA 13002*, www.astra.admin.ch.

Normen

- [3] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, „**Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden**“, *Norm SIA 180*.
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, „**Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen**“, *Norm SIA 382/1*.

Fachhandbuch des ASTRA

- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), „**Betrieb**“, *Fachhandbuch ASTRA 26010*, www.astra.admin.ch.

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2024	1.00	24.05.2024	Inkrafttreten der Ausgabe 2024 und Publikation.

