



Unterhaltsabschnitt:	Sektor L	Kanton:	GR
Objekt / Los:	SISTO Tunnel Crapteig	Gemeinde:	Rongellen, Thusis
Unterhaltskilometer:	84.28 – 86.42		
RBBS:	842 - 865		
TDcost-Bezeichnung:	090041	DB-Nummer:	----

Technischer Bericht Lüftung

Bürointerne Berichtnr.
364235

Rev.	Erstellt	Index A	Index B	Index C	Index D	Dokument / Plan - Nr. (PV):	13c.3399 DP / 300
Datum	26.06.15					Inventarobjekt-Nummer:	18.13.20.518.02
Gez.	bdj					Format:	A4
Gepr.	fsm					Massstab:	
Projektleitung Bundesamt für Strassen ASTRA Filiale Bellinzona Via C. Pellandini 2 6500 Bellinzona						Eingegangen:	
						Geprüft / Prüfung.:	
						Freigabe:	

Änderungsverzeichnis

Dok Name	Version	Datum	Verfasser	Bemerkung	Freigabe
20150626 Ber DP Lueftung Crapteig	1.0	26.06.15	PV-LU,bdj, fsm,		

Verteiler

Bezeichnung:	Name:
GPL	Timo Stammwitz
BL PM Nord	Marco Ronchetti
FU-T/G	Balazs Fonyo
FU-BSA	Markus Eisenlohr
BHU	Louis Schönenberger
PV-Bau/BSA	Marcel Rogenmoser
PV-LU	Nicola Norghauer

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Gegenstand	5
2.1	Ziel und Zweck	5
2.2	Änderungen gegenüber Ausführungsprojekt	5
3	Grundlagen Lüftung	6
3.1	Tunneldaten	6
3.2	Lüftungskonzept SiSto	7
3.3	Anforderungen SiSto gemäss Richtlinie	7
4	Technischer Beschrieb SiSto	9
4.1	Dimensionierung der Lüftung	9
4.1.1	Massgebende Betriebssituationen	9
4.1.2	Dimensionierung für den Normalbetrieb	10
4.1.3	Dimensionierung für den Schutzbetrieb	10
4.2	Ausstattung SiSto	11
4.2.1	Axialventilatoren	11
4.2.2	Stahlgitter	13
4.2.3	Schalldämpfer	13
4.2.4	Portalschleusen	13
4.2.5	Fluchttüren	13
4.2.6	Wetterschutzgitter Fahrraum	13
4.2.7	Einstellbare Öffnung Zwischentüre	13
4.2.8	Sensorik SiSto	14
4.3	Schnittstellen zu BSA/BAU	15
5	Steuerung	16
5.1	Normalbetrieb	16
5.2	Schutzbetrieb	16
6	Montage und Inbetriebsetzung	17

Anhänge:

Anhang A1	Auslegung Ventilatoren	21
-----------	------------------------	----

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Lüftungsbericht beschreibt die Ausstattung der Belüftung des Sicherheitsstollens des Tunnels Crapteig.

Der Sicherheitsstollen verläuft bergseitig parallel zum Fahrraum. Er führt durch zwei Portale nach aussen. Das südliche Portal liegt etwas oberhalb und das nördliche Portal etwas unterhalb der Fahrraumportale. Die Verbindung zwischen Fahrraum und Sicherheitsstollen wird über 8 Querverbindungen im Abstand von je ca. 240 m hergestellt.

Mit der Belüftung des Sicherheitsstollens wird gewährleistet, dass dieser unter permanentem Überdruck steht, der im Normalbetrieb das Eindringen von Schmutz und im Schutzbetrieb das Eindringen von Rauch verhindert. Dazu ist folgende Ausrüstung vorzusehen:

- 2 Axialventilatoren (einer pro Portal) mit je zwei festen Drehzahlen und einer Motorleistung von je 18.5 kW resp. 3 kW
- zugehörige Lüftungskomponenten (Abschlussklappe, Überdruckklappe, ...)
- Ventilatorsensorik
- SiSto-Sensorik

2 Gegenstand

2.1 Ziel und Zweck

Die Belüftung des Sicherheitsstollens Tunnel Crapteig – im weiteren SiSto genannt – erfolgt nach den Vorgaben der nachfolgend aufgeführten Normen und Richtlinien.

- [1] SIA-Norm 197/2: Projektierung Tunnel – Strassentunnel, 2004
- [2] Richtlinie, Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunnel, Ausgabe 2008 V1.06, Bundesamt für Strassen (ASTRA)
- [3] Richtlinie, Türen und Tore in Strassentunneln, Ausgabe 2009 V1.04, Bundesamt für Strassen (ASTRA)
- [4] Technisches Merkblatt, SISTO-Lüftung, Ausgabe 2012 V1.01, Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Die Aufgaben der Belüftung des Sicherheitsstollens (SiSto) sind:

- im Normalbetrieb:
 - Verhinderung des Eindringen von Schmutz in den SiSto;
 - vor Auslösung des Schutzbetriebes eine erste Sicherheit gegen das Eindringen von Rauch zu gewährleisten;
- im Schutzbetrieb:
 - Verhinderung von Rauchübertritt in die Querverbindungen und in den Sicherheitsstollen bei Benutzung der Fluchttüren.

2.2 Änderungen gegenüber Ausführungsprojekt

Gemäss der Forderung des ASTRA nach Verzicht auf Frequenzumformer werden die Ventilatoren neu mit zwei festen Drehzahlen betrieben. Wegen der daraus resultierenden geringeren Flexibilität des Lüftungssystems sind zusätzlich Schieber an den Überströmöffnungen bei den Zwischentüren notwendig.

3 Grundlagen Lüftung

3.1 Tunneldaten

Die wichtigsten Daten des Sicherheitsstollens (SiSto), der Querverbindungen (QV) und der Ventilatorenräume bei den Portalen sind in der Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt. Damit die Belüftung dieses Abschnittes gewährleistet werden kann, ist in der Nähe jeder Fluchtwege eine kleine Öffnung zum Fahrraum erforderlich.

	SiSto	QV	Ventilatoren- raum Nord	Ventilatoren- raum Süd
Anzahl	1	8	1	1
Länge [m]	2'036	18	11.3	10.9
Querschnitt [m²]	13.6	11.9	7.1	7.7
Umfang [m]	14.0	13.1	10.3	11.4
Wandreibungskoeffizient [-]	0.04 ^(*)	0.04 ^(*)	0.04 ^(*)	0.04 ^(*)

^(*) Der Wandreibungskoeffizient beinhaltet auch die Reibungsverluste der Einbauten (ausser Lüftungskomponenten)

Tabelle 1: Daten von SiSto, QV und Ventilatorenräume

	Öffnung Fahrraum	Fluchttüre	Öffnung Zwischentüre
Lichte Fläche [m²]	0.05	2.63 (1.25 x 2.1)	0.85
Umfang [m]	0.79	6.7	4.0
Max. Öffnungskraft [N]	--	120	--

Tabelle 2: Daten der Öffnungen und Türen

	Portalstation Nord	Portalstation Süd
Horizontaler Abstand zum Tunnelportal [m]	55	100
Höhendifferenz zum Tunnelportal [m]	-20	8

Tabelle 3: Lage der SiSto Portalstationen

In der Absperrwand bei den Ventilatoren wird in beiden Zentralen eine Überdruckklappe installiert, welche bei einem einstellbaren Überdruck öffnet.

3.2 Lüftungskonzept SiSto

Mit der Belüftung des SiSto im Normalbetrieb wird gewährleistet, dass kein Schmutz und keine belastete Tunnelluft in die Fluchtwegabgänge und in den SiSto eindringen können. Dies erfolgt dadurch, dass der SiSto und die Querverbindungen unter einem permanenten Überdruck gegenüber dem Fahrraum stehen. Diese Betriebsart ermöglicht sowohl eine periodische Lüfterneuerung wie auch eine für Unterhaltsarbeiten ausreichende Frischluftversorgung. Vor der Auslösung des Ereignisbetriebes im Brandfall bietet diese Belüftung bereits eine erste Sicherheit gegen ein Eindringen von Rauch in die gesicherte Zone.

Im Ereignisbetrieb wird die Lüftung so betrieben, dass bei einem Brand im Tunnelfahrraum der SiSto und die Querverbindungen frei von Rauch und Schadstoffen bleiben. Dies ist gewährleistet, wenn sich ein ausreichender Luftstrom zum Fahrraum durch die geöffneten Notausgangstüren einstellt. Diese Betriebsart ermöglicht die Selbstrettung der Tunnelbenutzer, die nach dem Auffinden einer Notausgangstür, den Tunnel durch eine gesicherte Zone verlassen können. Im Ereignisfall wird davon ausgegangen, dass durch bis zu drei Notausgangstüren (Fluchtwegabgänge) gleichzeitig geflüchtet wird.

Jede Querverbindung stellt eine Art Schleuse zwischen dem Fahrraum und dem SiSto dar, der via Notausgangstüre (Schiebetüre) vom Fahrraum her erreicht wird. Eine Verbindung zum SiSto hin besteht einerseits durch eine Zwischentüre (Schiebetüre), andererseits durch eine Luftöffnung in der Trennwand. Beide Türen sind so ausgelegt, dass sie von selbst schliessen. Die beiden Türen sind nicht gegeneinander verriegelt.

Der SiSto verbindet die einzelnen Querverbindungen miteinander. Die Verbindung des SiSto ins Freie ist an beiden Enden durch Schleusen gegeben.

An beiden Portalen werden Axialventilatoren sowie Schalldämpfer installiert. Jeder Ventilator verfügt druckseitig über eine Abschlussschleuse, die geschlossen ist, wenn der Ventilator nicht in Betrieb ist. Aus Lüftungs- und regelungstechnischer Sicht ist je eine Überdruckklappe in der Trennwand des Axialventilators vorgesehen, die sich bei einem bestimmten Druck zu öffnen beginnt, damit der Druck im SiSto begrenzt werden kann. Die Ventilatoren werden mit zwei festen Drehzahlen betrieben. Im Normalbetrieb ist jeweils nur ein Ventilator auf der reduzierten Drehzahl in Betrieb. Im Ereignisbetrieb werden an beiden Portalen die Axialventilatoren auf die hohe Drehzahl hochgefahren.

Die Gefahr eines Brandes im SiSto ist mit geeigneten Massnahmen so gering wie möglich zu halten.

3.3 Anforderungen SiSto gemäss Richtlinie

Die Belüftung erfolgt über zwei örtlich getrennte Ventilatorstationen. Die angesaugte Aussenluft ist bei horizontalen Abständen zu den Tunnelportalen < ca. 50m mit einer Rauchdetektion (Rauchmelder) zu überwachen.

Im Normalbetrieb muss das Lüftungssystem dauernd in Betrieb sein und der Überdruck überwacht werden. Es wird immer nur ein Ventilator betrieben. Die Ventilatoren werden abwechselnd so betrieben, dass sich die Betriebsstunden gleichmässig auf die beiden Ventilatoren aufteilen.

Im Schutzbetrieb muss das Lüftungssystem möglichst schnell hochfahren und alle Ventilatoren müssen in Betrieb genommen werden.

Die Lüftung des Sicherheitsstollens und der Querverbindungen muss für den Normalfall so ausgelegt sein, dass:

- bei geschlossenen Schleusen, Fluchttüren und Zwischentüren bei allen Querverbindungen ein Überdruck von mindestens 50 Pa gegenüber dem Fahrraum gewährleistet ist,
- pro Notausgangtür der Luftstrom 0.2 bis 0.4 m³/s beträgt,
- für Tunnellängen < 3 km sind die beschriebenen Anforderungen ohne die Wirkung von Verkehr und/oder mechanischen Lüftung in der Tunnelröhre zu gewährleisten.

Für die Auslegung im Schutzbetrieb (Betrieb im Ereignisfall):

- alle Undichtheiten müssen berücksichtigt werden,
- wenn drei Fluchttüren im Bereich des Ereignisses gleichzeitig offen sind, muss die mittlere Durchströmgeschwindigkeit durch jede der offenen Türen mindestens 1 m/s betragen (bei Tunnel mit gezielter Rauchabsaugung sind alle Fluchttüren im Bereich von bis zu 600 m als offen anzunehmen),
- die Lüftung muss dafür ausgelegt werden, dass wenn am ungünstigsten Ort (nahe dem Ventilator) eine Fluchttüre offen ist, beim zusätzlichen Öffnen jeder weiteren Fluchttür eine mittlere Durchströmgeschwindigkeit von 1 m/s gewährleistet ist,
- die Lüftung muss auch funktionieren, wenn alle Fluchttüren geschlossen sind (Pumpgrenze massgebend),
- der Schutzbetrieb muss bei einem Brandalarm im Tunnel, einem Voralarm, Öffnen einer Fluchttüre, Entnahme eines Feuerlöschers oder Abfall des Überdrucks im Sicherheitsstollen automatisch ausgelöst werden.

Die Anforderungen an die Belüftung des SiSto während dem Schutzbetrieb müssen beim Ausfall eines einzelnen Ventilators (z.B. nach dem Ansprechen der Rauchdetektion in der entsprechenden Luftfassung) zu 100 % erfüllt sein. Die Funktion der Axialventilatoren für den Schutzbetrieb muss auch erfüllt sein, wenn beide in Betrieb sind.

Für die Auslegung des Schutzbetriebes sind allfällige thermostatische und barometrische Druckdifferenzen zwischen den Tunnelportalen zu berücksichtigen, wenn diese im gewählten Lüftungssystem wirksam werden. Zusätzlich ist auch der Effekt der Tunnellüftung im Ereignisfall zu berücksichtigen.

Der Schutzbetrieb darf nur manuell zurückgestellt werden können.

4 Technischer Beschrieb SiSto

4.1 Dimensionierung der Lüftung

4.1.1 Massgebende Betriebssituationen

Für die Auslegung der SiSto-Lüftung ergeben sich aus den Anforderungen in Kap. 3.3 die in Tabelle 4 aufgeführten Betriebssituationen für den Normalbetrieb (NB) und den Schutzbetrieb (SB).

Betriebsart	Fall	Ventilator		Auftrieb, Abtrieb	Fluchttüren	Anforderung
		Süd	Nord			
NB	N1s	Ein (NB)	Aus	Ohne	Alle geschlossen	Volumenstrom pro Fluchttüre: 0.2-0.4 m ³ /s; $\Delta p > 50$ Pa
	N1n	Aus	Ein (NB)	Ohne		
SB	S2n	Aus	Ein (SB)	Abtrieb / Ohne	Alle geschlossen	Stabiler Betriebspunkt; Volumenstrom pro geschlossene Fluchttüre: 0.2-0.4 m ³ /s
	S2sn	Ein (SB)	Ein (SB)	Auftrieb / Ohne		
	S3s	Ein (SB)	Aus	Auftrieb / Ohne	3 Türen im Ereignis- bereich geöffnet	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit pro offene Fluchttüre: >1 m/s; Volumenstrom pro geschlossene Fluchttüre: 0.2-0.4 m ³ /s
	S3n	Aus	Ein (SB)	Abtrieb / Ohne		
	S4n	Aus	Ein (SB)	Abtrieb / Ohne	Eine Türe Süd und eine Nord geöffnet	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit pro offene Fluchttüre: >1 m/s; Volumenstrom pro geschlossene Fluchttüre: 0.2-0.4 m ³ /s
	S4s	Ein (SB)	Aus	Auftrieb / Ohne		
	S5ns	Ein (SB)	Ein (SB)	Ohne	Eine Türe Mitte geöffnet	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit pro offene Fluchttüre: ca. 2-3 m/s; Volumenstrom pro geschlossene Fluchttüre: 0.2-0.4 m ³ /s

Tabelle 4: Massgebende Betriebsszenarien

Der Gegendruck im Fahrraum bei einem Ereignis wird aus den vorhandenen Informationen zur Tunnellüftung Crapteig abgeleitet:

- Brandortnahe Absaugung: 4 Abluftventilatoren mit einer Kapazität von mindestens 4 x 100 m³/s = 400 m³/s am Ereignisort beim gleichzeitigen Betrieb aller AV
- Positionen Strahlventilatoren: 4 SV bei 288 m, 4 SV bei 387 m, 4 SV bei 1'791 m, 3 SV bei 1'890 m und 3 SV bei 1'989 m ab Portal Nord
- Leistung Strahlventilatoren: 18 unidirektionale Strahlventilatoren mit einem Schub von je 1100 N Richtung Süd-Nord resp. 330 N Nord-Süd
- Steuerung Strahlventilatoren: Bei Brand im Norden werden die 10 Strahlventilatoren im Süden betrieben, um die Strömung abzubremsen. Bei Brand im Süden werden die 8 Strahlventilatoren im Norden betrieben, um die Strömung abzubremsen.

Für die Auslegung Schutzbetrieb SiSto-Lüftung ist ein Ereignis 300 m ab Nordportal massgebend. In diesem Fall werden die Strahlventilatoren im Süden mit Blasrichtung Norden betrieben. Es wird angenommen, dass die Absaugung punktuell am Ort des Ereignisses erfolgt. Das resultierende statische Druckprofil gibt die Druckrandbedingungen an den Fluchttüren vor (siehe Tabelle 5).

QV	QV16	QV14	QV12	QV10	QV08	QV06	QV04	QV02
Δp [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Tabelle 5: Statischer Druck (relativ zum Umgebungsdruck an den Portalen) im Fahrraum an den Fluchttüren

Zudem wird ein Auftrieb bzw. Abtrieb des ca. 7% steilen SiSto berücksichtigt, welcher entgegen der Blasrichtung des aktiven Ventilators wirkt. Geht man konservativ von einem Temperaturunterschied von 2 K für alle 450 m Länge des Tunnels gegenüber Umgebungstemperatur aus, so resultieren ca. 63 Pa Auftrieb bzw. Abtrieb.

4.1.2 Dimensionierung für den Normalbetrieb

Für die Dimensionierung des Normalbetriebes sind die Fälle N1n und N1s massgebend. Es ist dabei jeweils nur ein Ventilator mit reduzierter Drehzahl in Betrieb, entweder auf der Süd- oder Nordseite.

Fall	Axialventilator			Druckdifferenz über Notausgangstüre [Pa]		Volumenstrom über Notausgangstüre [m³/s]		Überdruckklappen
	Druckdifferenz [Pa]	Volumenstrom [m³/s]	Elektrische Leistung [kW]	min.	max.	min.	max.	
N1s	136	6.1	1.3	104	106	0.25	0.25	geschlossen
N1n	136	6.1	1.3	105	106	0.25	0.25	geschlossen

Tabelle 6: Resultate Normalbetrieb

Der massgebende Betriebspunkt für den Normalbetrieb liegt bei:

- Volumenstrom: 6.1 m³/s
- Totaldruckerhöhung: 136 Pa

4.1.3 Dimensionierung für den Schutzbetrieb

Für die Auslegung der Belüftung des Sicherheitstollens im Schutzbetrieb werden verschiedene Fälle gemäss Tabelle 7 berücksichtigt.

Fall	Auftrieb, Abtrieb	Axialventilator			Geschwindigkeit in offener Not- ausgangstüre [m/s]		Volumenstrom über ge- schlossene Notausgangs- türe [m³/s]		Überdruck- klappen
		Druck- differenz [Pa]	Volumenstrom [m³/s]	Elektrische Leistung [kW]	min.	max.	min.	max.	
S2n	Abtrieb	514	12.7	10.6	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
	Ohne	431	13.9	9.8	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
S2s	Auftrieb	469	13.3	10.2	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
	Ohne	448	13.6	10.0	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
S2ns	Auftrieb	480/431	13.1/13.8	10.3/9.7	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
	Ohne	452/452	13.5/13.5	10.0/10.0	-	-	0.4	0.4	2 teils offen
S3s	Auftrieb	375	14.6	9.0	1.0	1.2	0.2	0.27	geschlossen
	Ohne	338	15.1	8.4	1.1	1.2	0.23	0.28	geschlossen
S3n	Abtrieb	365	14.8	8.8	1.0	1.2	0.2	0.26	geschlossen
	Ohne	328	15.3	8.1	1.1	1.3	0.2	0.27	geschlossen
S4n	Abtrieb	401	14.3	9.3	1.2	1.4	0.3	0.3	geschlossen
	Ohne	368	14.7	8.8	1.3	1.5	0.3	0.3	geschlossen
S4s	Auftrieb	404	14.2	9.4	1.2	1.4	0.3	0.3	geschlossen
	Ohne	372	14.7	8.9	1.3	1.5	0.3	0.3	geschlossen
S5ns	Ohne	406/406	14.2/14.2	9.4/9.4	1.7	1.7	0.3	0.4	2 teils offen

Tabelle 7: Resultate Schutzbetrieb

Die massgebenden Betriebspunkte für den Schutzbetrieb liegen bei:

- Volumenstrom: 15.3 m³/s
- Totaldruckerhöhung: 328 Pa

und

- Volumenstrom: 12.7 m³/s
- Totaldruckerhöhung: 514 Pa

Der Ventilator muss ausserdem im Schutzbetrieb eine stetig steigende Kennlinie (pumpsichere Kennlinie bis min. 800 Pa) aufweisen.

4.2 Ausstattung SiSto

4.2.1 Axialventilatoren

Für die Lüftung des SiSto wird pro Portal ein Axialventilator mit fixer Schaufelverstellung und zwei festen Drehzahlen eingesetzt. Die Einstellung der beiden festen Drehzahlen wird über eine Dahlanderschaltung realisiert.

Die Annahmen zu den Wandreibungskoeffizienten und der Dichtheit des SiSto basieren auf theoretischen Überlegungen und Berechnungen, die immer mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind und berücksichtigt werden müssen. Eine Quantifizierung der Unsicherheiten ist im einzelnen Fall oft schwierig. Um auf mögliche Abweichungen bei der Inbetriebnahme reagieren zu können, sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- die Laufschaufeln des Ventilators müssen im Stillstand verstellbar sein,
- der Ventilator ist so zu dimensionieren, dass eine geringe Verschiebung des Betriebspunktes in jede Richtung mit Verstellen des Laufschaufelwinkels überhaupt möglich ist,
- der Antriebsmotor muss so ausgelegt werden, dass er bei Erhöhung der Ventilatorleistung durch Verstellen der Laufschaufeln nicht überlastet wird,

Die wichtigsten Daten der für die Auslegung verwendeten Axialventilatoren sind (Richtwerte):

- Laufraddurchmesser: 1.1 m
- Länge: 2.5 m
- Gewicht: 600 kg
- Motorleistung (Wahl der Baugrösse): 11 kW / 1.5 kW
- Anschlussspannung: 400 V

Mit einem Ventilator dieser Baugrösse können die Anforderungen knapp eingehalten werden.

Aus Gründen der Einheitlichkeit mit den Tunneln Viamala, Bärenburg und Rofla wird der nächst grössere Ventilator gewählt:

- Laufraddurchmesser: 1.2 m
- Länge: 3.0 m
- Gewicht: 650 kg
- Motorleistung (Wahl der Baugrösse): 18.5 kW / 3 kW
- Anschlussspannung: 400 V

Die genauen Spezifikationen sind von Hersteller zu Hersteller etwas verschieden und können demnach erst nach der Vergabe definitiv angegeben werden.

Saugseitig sind die Ventilatoren mit Einströmdüse und Schutzgitter, druckseitig mit Diffusor und Abschlussklappe ausgestattet.

Die steuerbare Abschlussklappe ist bei ausgeschaltetem Ventilator geschlossen. Dadurch kann verhindert werden, dass bei Nichtbetrieb des Ventilators Luft über das Portal entweicht. Beim Ausfall eines Ventilators muss die zugehörige Klappe schliessen und geschlossen bleiben. Auch bei einem Stromausfall muss die Abschlussklappe selbständig schliessen.

Die Überdruckklappen sind als passiv arbeitende Überdruckklappen so auszulegen, dass sie bei Drücken im Bereich von 300 - 400 Pa (einstellbar) zuverlässig öffnen. Die Überdruckklappen müssen eine Bruttofläche von je 1 m² aufweisen (effektive freie Fläche 75% der Bruttofläche).

Die Saug- und Druckseite des Ventilators sind mit einer Abschlusswand voneinander getrennt. An dieser Wand sind sowohl die Abschlussklappe des Ventilators wie auch die Überdruckklappe montiert.

Für einen zuverlässigen Betrieb der Ventilatoren ist folgende Sensorik erforderlich: Vibration, Temperatur der Motorenwicklung und Motorenlager.

4.2.2 Stahlgitter

Der Lüftungsraum wird saugseitig mit einem Stahlgitter ausgerüstet. Das Gitter schützt den Lüftungsraum vor dem Eindringen von Fremdkörpern. Um die Montage und Wartung der Komponenten zu erleichtern wird es als Gittertor ausgeführt.

4.2.3 Schalldämpfer

Saug- sowie druckseitig der Ventilatoren ist Raum für die Kulissen-Schalldämpfer mit einem Gewicht von je ca. 700 kg vorgesehen.

4.2.4 Portalschleusen

Die zwei Türen resp. Tore der Schleuse müssen zweckmässig verriegelt sein, dass der Überdruck dauernd gewährleistet ist und die Türen leicht zu öffnen sind. Eine automatische Türschliessung ohne Fremdenergie ist notwendig. Die Leckage über eine geschlossene Schleuse soll maximal $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ bei 50 Pa Druckdifferenz betragen. Es bestehen keine Anforderungen an die Brandfestigkeit der Schleusentüren. [3]

Bei bestimmten Unterhaltsarbeiten müssen die Schleusen entriegelt werden können, damit beide Schleusentore gleichzeitig offen stehen. Durch den Abfall des Überdruckes im SiSto wird automatisch der Schutzbetrieb ausgelöst. In diesem Zustand ist es jedoch nicht möglich einen genügenden Überdruck aufzubauen. Beschränkt sich der Zustand mit gleichzeitig geöffneten Schleusentüren auf eine kurze Zeit, muss der Tunnel für diese Arbeiten nicht geschlossen werden. Dieser Zeitraum ist jedoch zu minimieren.

4.2.5 Fluchttüren

Die Fluchttüren zum Fahrraum werden als Schiebetüren mit einem lichten Öffnungsmass von 1.25 m Breite und 2.1 m Höhe ausgeführt. Eine automatische Türschliessung ohne Fremdenergie ist notwendig. Die Fluchttüren zum Fahrraum sind auf dynamische Druckdifferenzen von +2'000 Pa auf -2'000 Pa in 0.3 s und von -2'000 Pa auf +2'000 Pa in 0.3 s auszulegen. [3]

Im Weiteren muss ein sicheres Öffnen der Fluchttüren bei statischen Drücken von bis zu 700 Pa (gemäss Auslegung) gewährleistet sein. Die Türöffnungskräfte dürfen 120 N nicht übersteigen. Um dies zu ermöglichen, wird die maximale Öffnungskraft bei der Erstabnahme bei Betriebslüftung auf 100 N festgelegt [3].

Die Fluchttüren zum Fahrraum müssen mindestens die Brandfestigkeit EI30 erfüllen [3].

4.2.6 Wetterschutzgitter Fahrraum

Bei jeder Fluchttüre ist eine Öffnung mit einem Durchmesser von 0.25 m notwendig. Die Grösse dieser Öffnung muss z.B. mit einem Schieber verstellt werden können, um den Leckagevolumenstrom einzustellen. Fahrraumseitig verfügen sie über ein Wetterschutzgitter. Die Gitter müssen so konstruiert sein, dass sie den Anforderungen in der Tunnelumgebung genügen, insbesondere der Beanspruchung durch Strahlwasser bei einer Tunnelreinigung.

4.2.7 Einstellbare Öffnung Zwischentüre

Bei jeder Zwischentüre ist eine Öffnung mit einer Fläche von 0.85 m^2 notwendig. Die Grösse dieser Öffnung muss zur Hälfte mit einem Schieber oder mehreren Blechen versperrt werden können. Die Regulierbarkeit des Volumenstroms durch diese Öffnung ist mit dem Verzicht auf Frequenzumformer notwendig geworden.

4.2.8 Sensorik SiSto

Rauchdetektion

Bei jeder Aussenluftansaugung für die Belüftung des SiSto wird eine Rauchdetektion installiert. Sobald Rauch bei einer Ansaugung detektiert wird, wird dort der Axialventilator abgeschaltet und die Klappe geschlossen. Insgesamt werden zwei Rauchdetektoren benötigt. Die Rauchmelder sind nach dem Ventilator angeordnet.

Als Rauchdetektor soll ein robustes Messgerät ähnlich der Rauchdetektion im Fahrraum mit 120° Streulichtmessung, Messumfang 0-3 E/m und Auflösung min. 0.001 E/m vorgesehen werden. Er soll in einem IP65 Gehäuse eingebaut sein. Um bei Nebel eine Fehldetektion zu verhindern, ist der Rauchdetektor mit einer Heizung zu versehen.

Druckwächter

Gemäss [2] muss der im SiSto herrschende Überdruck gegenüber dem Fahrraum überwacht werden. Es wird jeweils bei einer nördlichen (QV 04) und südlichen (QV14) Querverbindung eine Differenzdruckmessung vorgesehen (min. Messbereich -100 Pa bis +500 Pa). Bei einem anhaltenden Abfall des Überdruckes erfolgt die automatische Auslösung des Schutzbetriebes (kurz-zeitiger Druckabfall z.B. durch Druckschwankungen soll nicht zur Auslösung führen). Eine eigentliche Druckregelung des Belüftungssystems ist nicht erforderlich.

Strömungswächter

Saugseitig der Axialventilatoren (Einlassdüsen) ist pro Ventilator ein Strömungswächter zu installieren. Der Strömungswächter ist als Volumenstrommessung auszuführen.

Sobald ein Strömungswächter nicht anspricht (keine Strömung → Motordefekt, blockiertes Laufrad usw.), wird der entsprechende Ventilator ausser Betrieb genommen und seine Abschlussklappe geschlossen.

Türkontakte

Alle Fluchttüren sind mit Türkontakten zu versehen. Beim Öffnen einer Fluchttüre erfolgt die automatische Auslösung des Schutzbetriebes.

4.3 Schnittstellen zu BSA/BAU

Was	PV		Bemerkungen
	Lüftung	BSA/Bau	
Ventilatoren inkl. Abschlussklappe, Abschlusswand und Überdruckklappe	X		Lieferung und Montage
Stahlgitter	X		Lieferung und Montage
Schalldämpfer	X		Lieferung und Montage
Ventilatorsensorik inkl. Strömungswächter	X		Lieferung und Montage der Komponenten am Ventilator, Lieferung Auswertegeräte
Montage Auswertegeräte Ventilatorsensorik inkl. Strömungswächter		X	Montage Auswertegeräte in den Schaltschränken sowie die schaltschrankinterne Verkabelung, Lieferung und Montage der Remote I/O
Schaltschrank Ventilatorsensorik		X	Lieferung und Montage
SiSto-Steuerung inkl. Dahlanderschaltung Drehzahl		X	Konzeption und Beschaffung
Funktionelle Anforderung SiSto-Lüftung	X		
Verkabelung Leistung		X	Schnittstelle ist der Leistungsklemmenkasten am Ventilator
Verkabelung Daten	X		Datenverkabelung zwischen Ventilator und Schaltschrank (Auswertegerät oder Remote I/O)
Portalschleusen		X	Lieferung, Montage inkl. Schleusensteuerung und Überwachung
Notausgangstüren		X	Lieferung, Montage inkl. Türüberwachung und Verkabelung
Zwischentüren		X	Lieferung und Montage
Abdeckbleche Überströmöffnung Zwischentüren	X		Lieferung und Montage
Wetterschutzgitter und Schieber für die Öffnungen zum Fahrraum	X		Lieferung und Montage
Rauchdetektion bei SiSto Portalen	X		Lieferung und Montage
Verkabelung Rauchdetektion bei SiSto Portalen		X	Verkabelung
Druckwächter	X		Lieferung und Montage
Verkabelung Druckwächter		X	Verkabelung
Bodentore bei Mannlöchern und Montageöffnungen, Türen		X	Lieferung und Montage

Tabelle 8: Definition Schnittstellen

5 Steuerung

5.1 Normalbetrieb

Das Lüftungssystem muss dauernd in Betrieb sein. Es wird immer nur ein Zuluftventilator mit reduzierter Drehzahl betrieben. Die Ventilatoren werden abwechselnd so betrieben, dass sich die Betriebsstunden gleichmässig auf die beiden Ventilatoren aufzuteilen. In folgenden Fällen werden die Axialventilatoren unabhängig der Betriebsstunden umgeschaltet und eine Störungsmeldung an die Leitzentrale wird ausgegeben:

- Rauchdetektion bei einem Axialventilator spricht an
- Strömungswächter/Funktionskontrolle bei einem Axialventilator meldet Störung

Beim Umschalten von einem auf den anderen Ventilator ist die Differenzdruckmessung kurzzeitig zu überbrücken. Der Ein/Ausschaltbefehl für einen Axialventilator steuert den Antrieb zum Öffnen/Schliessen der Abschlussklappe an. Bei Ventilatoren, die nicht in Betrieb sind, muss die Abschlussklappe geschlossen sein.

Die SiSto-Lüftung hat keinen Einfluss auf die neue Lüftung Tunnel und entsprechend muss diese nicht angepasst werden.

5.2 Schutzbetrieb

Beim Schutzbetrieb werden beide Ventilatoren auf die hohe Drehzahl hochgefahren. Der Schutzbetrieb wird automatisch, durch eines der folgenden Ereignisse ausgelöst:

- Brandalarm im Tunnel
- Voralarm im Tunnel
- Öffnen einer Fluchttüre
- Abfall des Überdrucks im Sicherheitsstollen (länger anhaltend, Richtwert $< 20 \text{ Pa}$ für ca. 20s)
- Entnahme Feuerlöscher
- manuelle Auslösung

Der Schutzbetrieb darf nicht automatisch, sondern nur manuell ausgeschaltet werden.

In folgenden Fällen wird ein Zuluftventilator automatisch abgeschaltet:

- Rauchdetektion bei einem Ventilator spricht an.
- Strömungswächter bei einem Ventilator meldet keine oder zu geringe Fördermenge.

Der Ein- und Ausschaltbefehl für einen Axialventilator steuert den Antrieb zum Öffnen/Schliessen der Abschlussklappe an. Bei Ventilatoren, die nicht in Betrieb sind, muss die Abschlussklappe geschlossen sein.

Die SiSto-Lüftung hat keinen Einfluss auf die neue Lüftung Tunnel und entsprechend muss diese nicht angepasst werden. Die zwei Lüftungssysteme werden unabhängig gesteuert.

6 Montage und Inbetriebsetzung

Die Montage der Anlage kann mit Fertigstellung des Rohbaus beginnen. Begonnen wird mit der Montage der Ventilatoren, Anbauteile und Schalldämpfer bei den Portalstationen. Nach erfolgreichem elektrischen Anschluss kann der Ventilator in Betrieb genommen werden.

Die Rauchmelder und Druckwächter können parallel mit der Ventilatormontage installiert und angeschlossen werden.

Nach Fertigstellung der Verkabelung, Montage der Türen und der Erstellung von Brandabschottungen werden die Wetterschutzgitter, Schieber und Abdeckbleche an den Überströmöffnungen montiert.

Somit ist die Anlage bereit für die Inbetriebsetzung, bei welcher die Schieber, Abdeckbleche und Überdruckklappen für die verschiedenen Szenarien eingestellt werden. Die definitive Einstellung kann nur bei sanierter Fahrraumlüftung vorgenommen werden.

In der Ausführungsphase sind die Tests gem. Tabelle 9 vorgesehen.

Test	Testumfang
Werkprüfung	Prüfung der Hauptkomponenten auf Einhaltung der Hauptanforderungen
Anlage-Einzeltest	Wenn alle Komponenten installiert sind, werden durch den Fachingenieur unter Mithilfe des Unternehmers die Anlage-Einzeltests für jede Komponente durchgeführt. Die Ergebnisse werden protokolliert.
Anlage-Verbundtest	Nach erfolgreich abgeschlossenem Anlage-Einzeltest findet der Anlage-Verbundtest statt. Dabei wird das Zusammenwirken der Komponenten innerhalb eines Betriebszustandes durch den Fachingenieur unter Mithilfe des Unternehmers geprüft und die Ergebnisse protokolliert.
Objekttest	Nach erfolgreich abgeschlossenem Anlage-Verbundtest findet der Objekt-Test statt. Folgende Tätigkeiten werden durch die Projektleitung unter Mithilfe der jeweiligen Fachingenieure ausgeführt und die Ergebnisse protokolliert: Funktionstüchtigkeit sämtlicher Anzeigen vor Ort und Betriebsleitzentralen inkl. sämtlicher Unterdrückungs- und Rückstellmöglichkeiten. Für die Gesamttests werden durch den Fachingenieur sämtliche Komponenten mit allen möglichen Betriebszuständen in einer Liste aufgeführt.
Integrierter Test	Nach erfolgreich abgeschlossenem Objekt-Test findet ein integrierter-Test statt. Beim integrierten Test ist die Anlage voll und ganz in die Systemwelt des Kantons GR / Gebiets-einheit V integriert.
Probetrieb	3 Monate

Test	Testumfang
Abnahmen	<p>Vor der Lieferung auf die Baustelle finden im Werk des Lieferanten Vorabnahmen und Werkabnahmen statt. Nach Abschluss der Inbetriebsetzungsarbeiten wird durch die BHU/Bauherrn und dem Fachingenieur die Abnahme auf der Baustelle durchgeführt.</p> <p>Es dürfen nur vollständige und integral im Werk geprüfte und abgenommene Systeme inbetriebgesetzt werden.</p> <p>Nach Prüfungen dürfen keine Änderungen mehr erfolgen, ohne die entsprechenden Prüf Abläufe vollständig zu wiederholen. Vor Ablauf der vertraglichen Garantiefrist findet eine Schlussprüfung statt.</p>
Garantiezeit	<p>Dauer der Garantiezeit: 3 Jahre</p> <p>Bei Systemen wie Ventilatoren, etc. werden während der Garantiezeit jährlich Wartungen vorgenommen. Dazu gehören z.B. Kalibrierung, Überprüfung auf mechanische Schäden, Filterwechsel, etc. Die Interventionszeit richtet sich nach den im Wartungsvertrag definierten Zeiten.</p>
Definitive Abnahme	Abnahmeprotokolle mit Angaben Sicherheitsleistungen des Unternehmers, Feststellungen bei der Prüfung und Ergebnis der Prüfung

Tabelle 9: Vorgesehene Tests

Der Unternehmer schult das Betriebspersonal vor der Abnahme auf Bedienung, Wartung und Fehleranalyse der Anlage.

PV-LU
Pöyry Schweiz AG

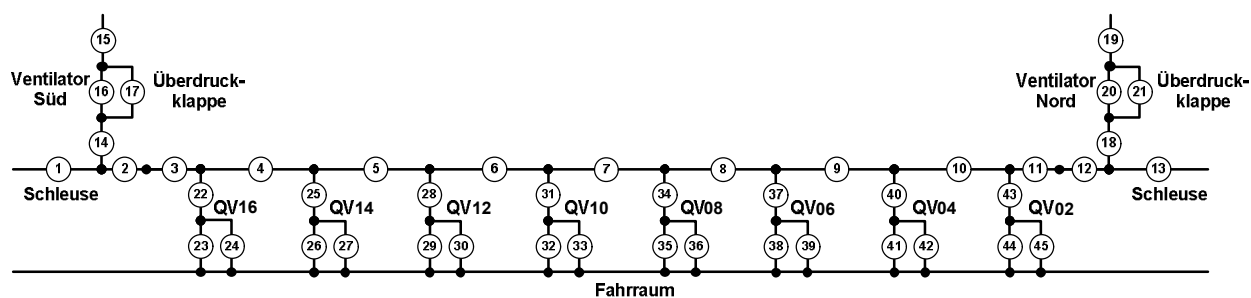
Nicola Norghauer
Projektleiter

Michele Fasciana
Projektingenieur

Anhang A1 Auslegung Ventilatoren

Berechnungsmodell

Für die Auslegung der Lüftung, insbesondere zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten und Druckverluste in den einzelnen Abschnitten, wird ein numerisches Rechenmodell verwendet. Dabei wird die Strömung als 1-dimensional und inkompressibel betrachtet. Das gesamte Kanalsystem wird gemäss der folgenden Abbildung unterteilt.



Ergebnisse

Für alle relevanten Szenarien wurde eine Berechnung durchgeführt. Die Randbedingungen und Ergebnisse der meisten Berechnungen sind auf den folgenden Seiten aufgelistet.

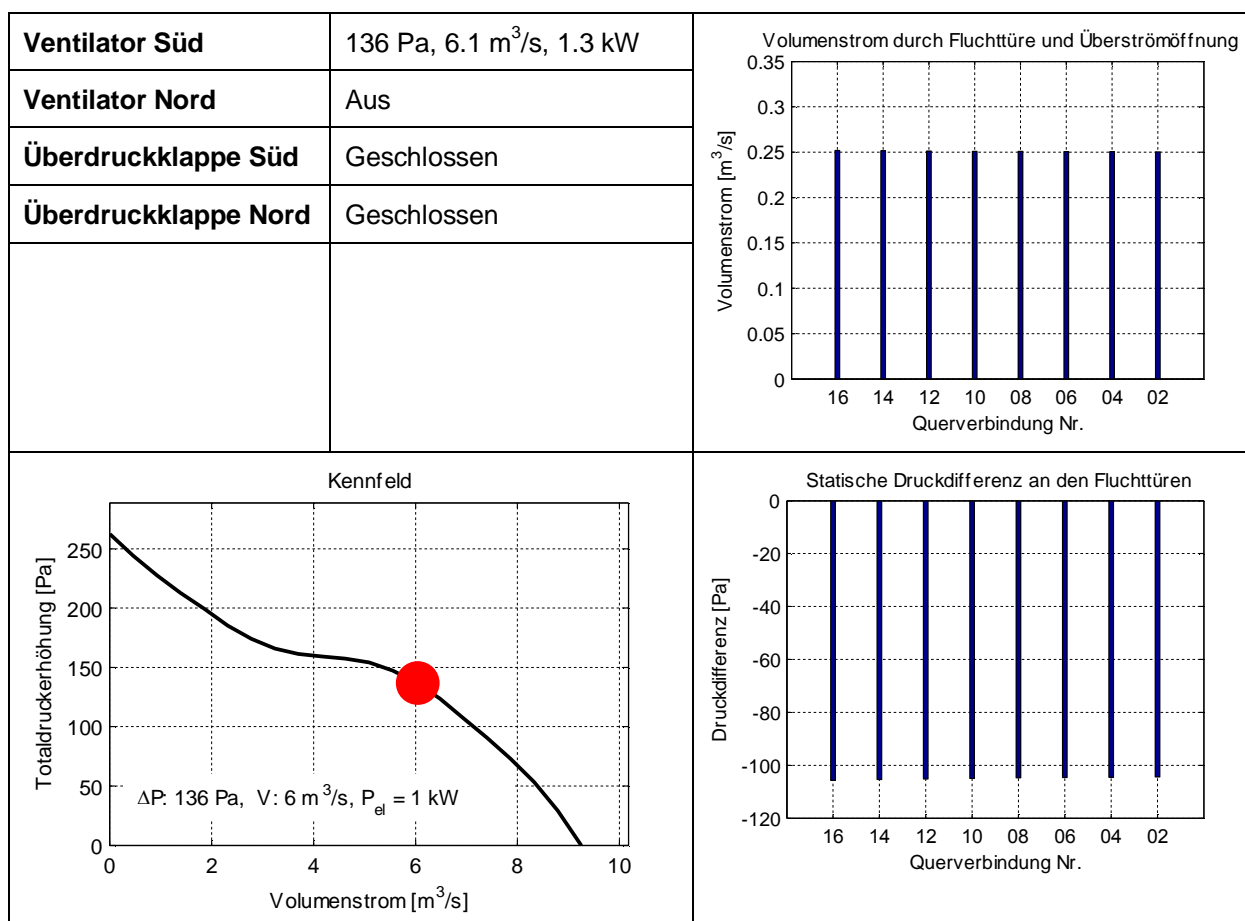
Fall N1s

Randbedingungen

Betriebsart	Normalbetrieb							
Ventilator Süd	Normalbetrieb							
Ventilator Nord	Aus							
Auftrieb / Abtrieb	Ohne							

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	0	0	0	0	0	0	0	0

Ergebnisse



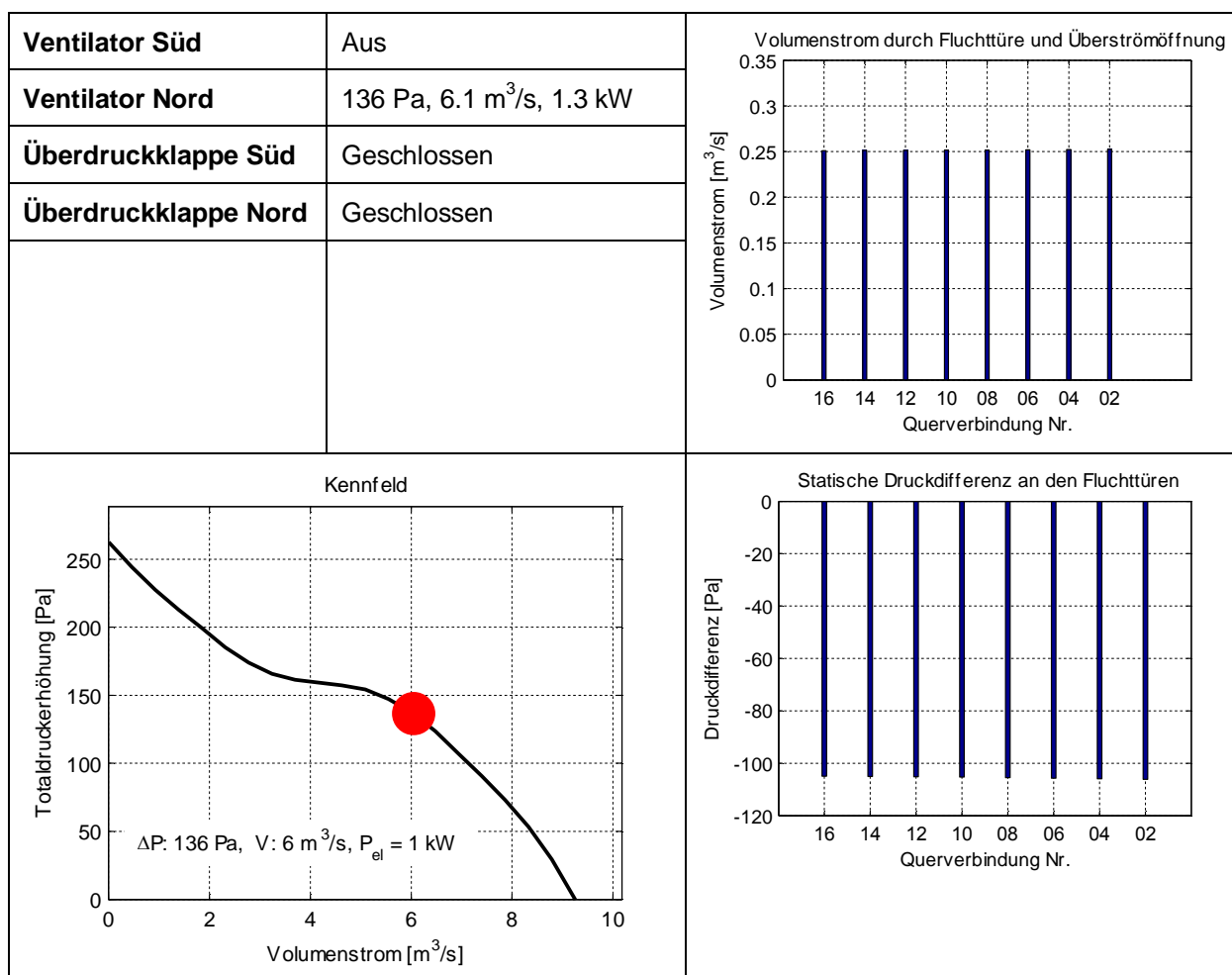
Fall N1n

Randbedingungen

Betriebsart	Normalbetrieb
Ventilator Süd	Aus
Ventilator Nord	Normalbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Ohne

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	0	0	0	0	0	0	0	0

Ergebnisse



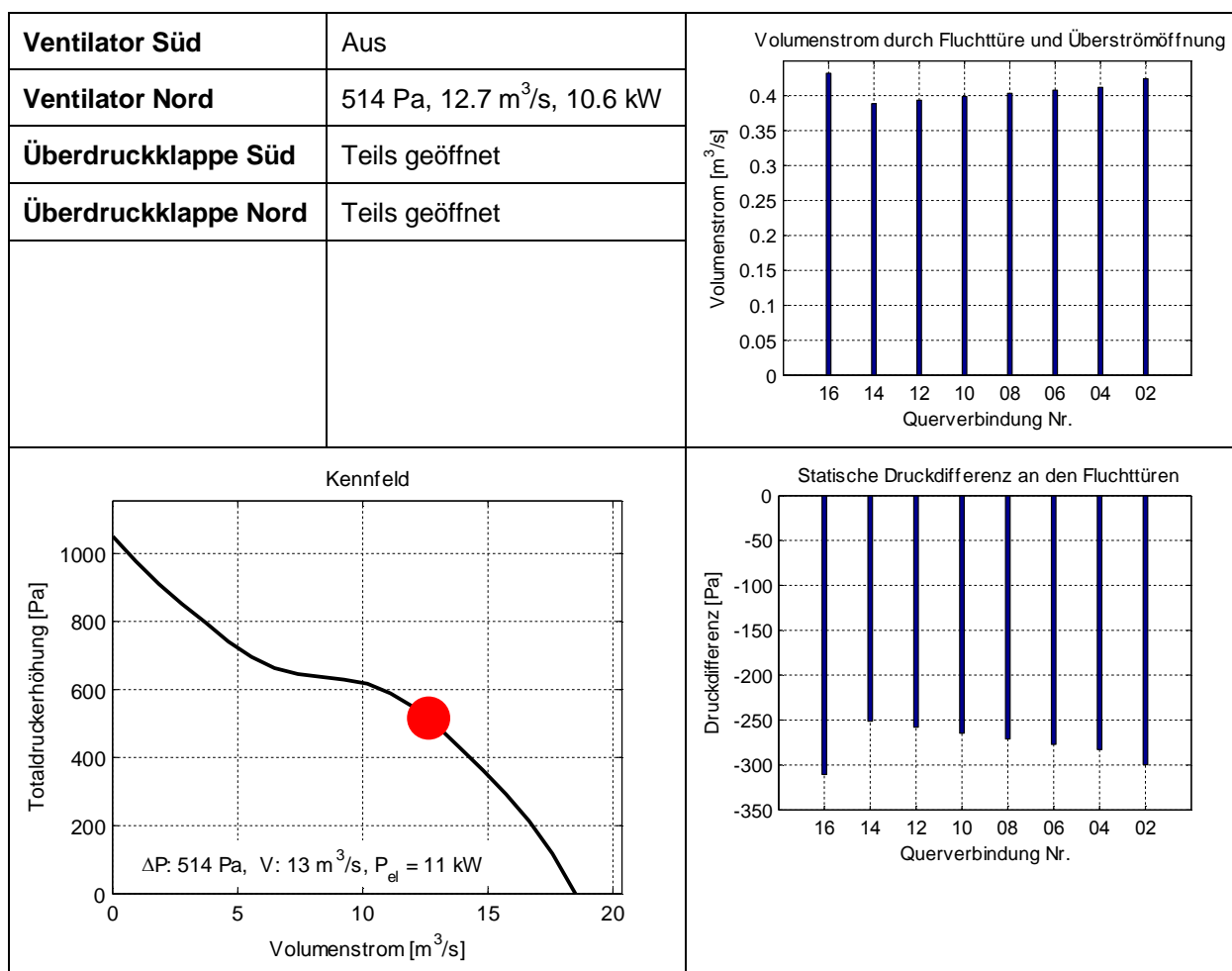
Fall S2n mit Abtrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Aus (nicht verfügbar)
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Abtrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



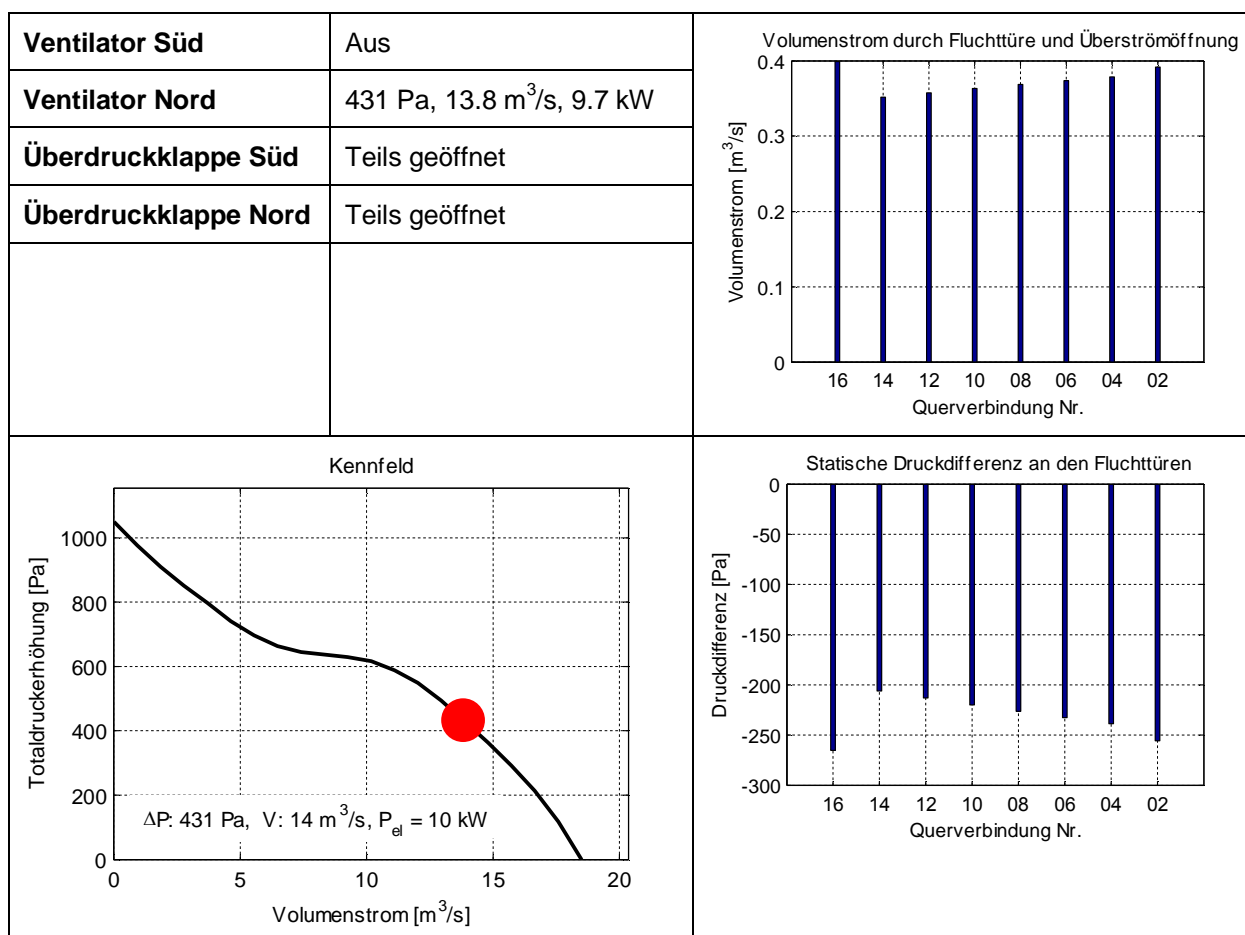
Fall S2n ohne Abtrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Aus (nicht verfügbar)
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Ohne

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



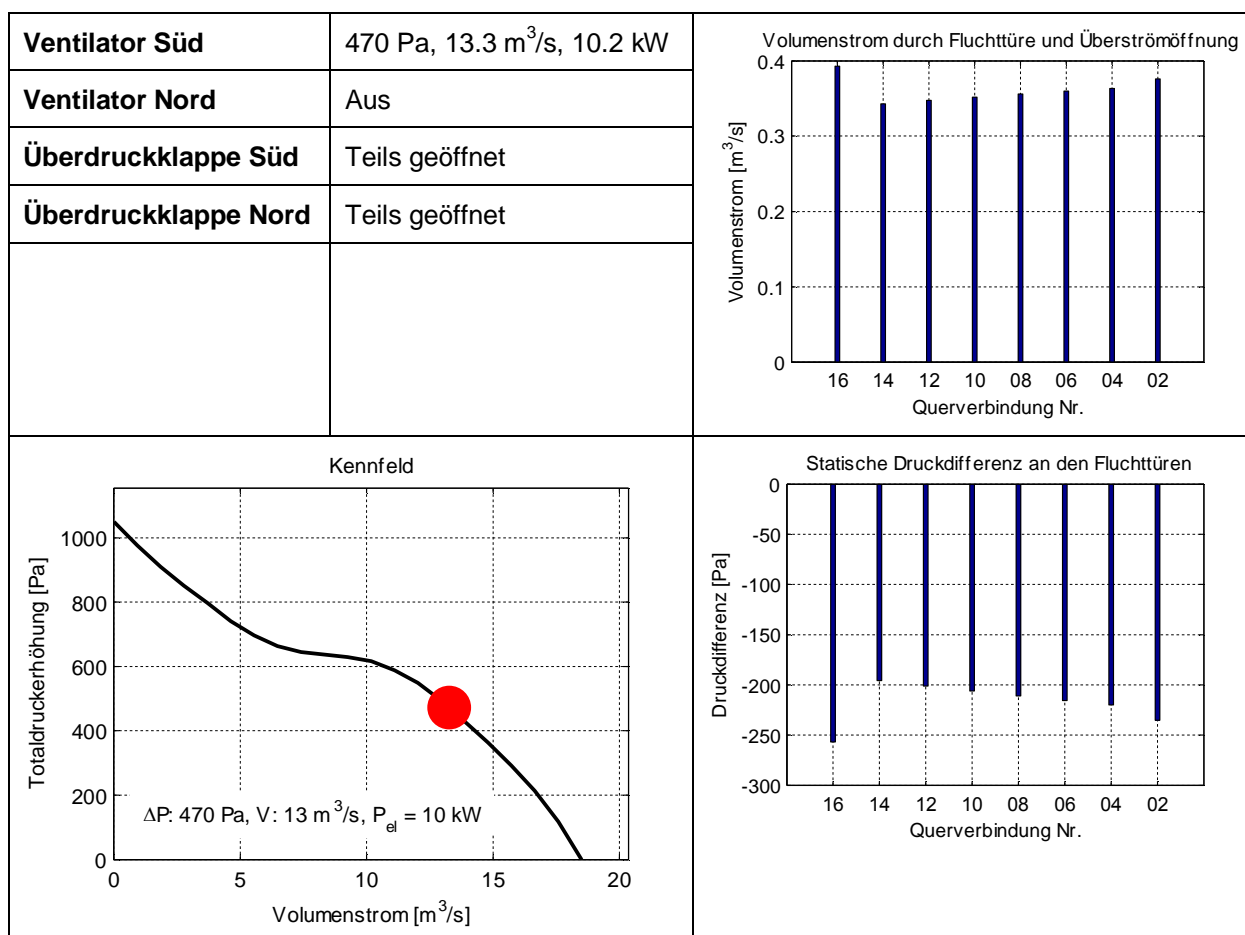
Fall S2s mit Auftrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Schutzbetrieb
Ventilator Nord	Aus (nicht verfügbar)
Auftrieb / Abtrieb	Auftrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



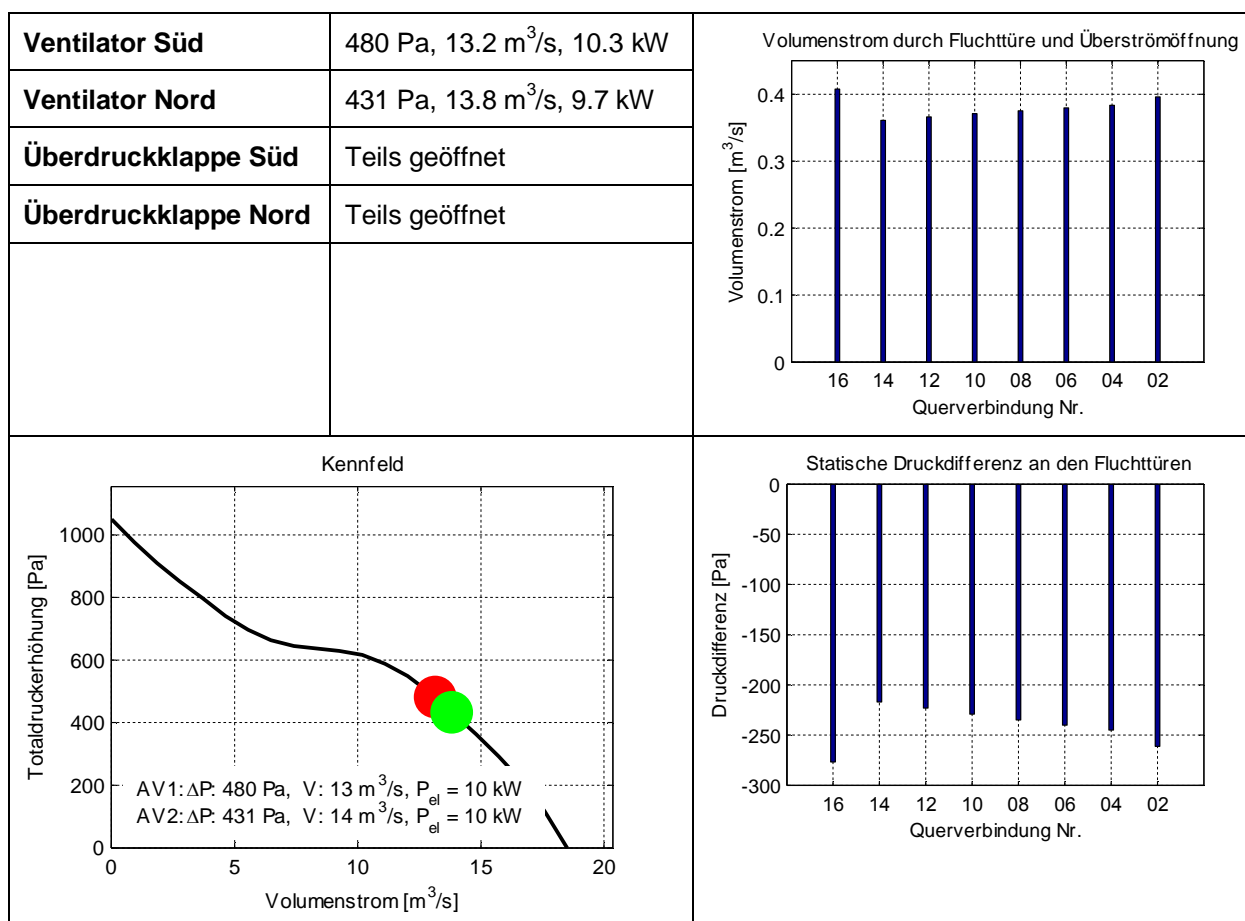
Fall S2ns mit Auftrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb
Ventilator Süd	Schutzbetrieb
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Auftrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



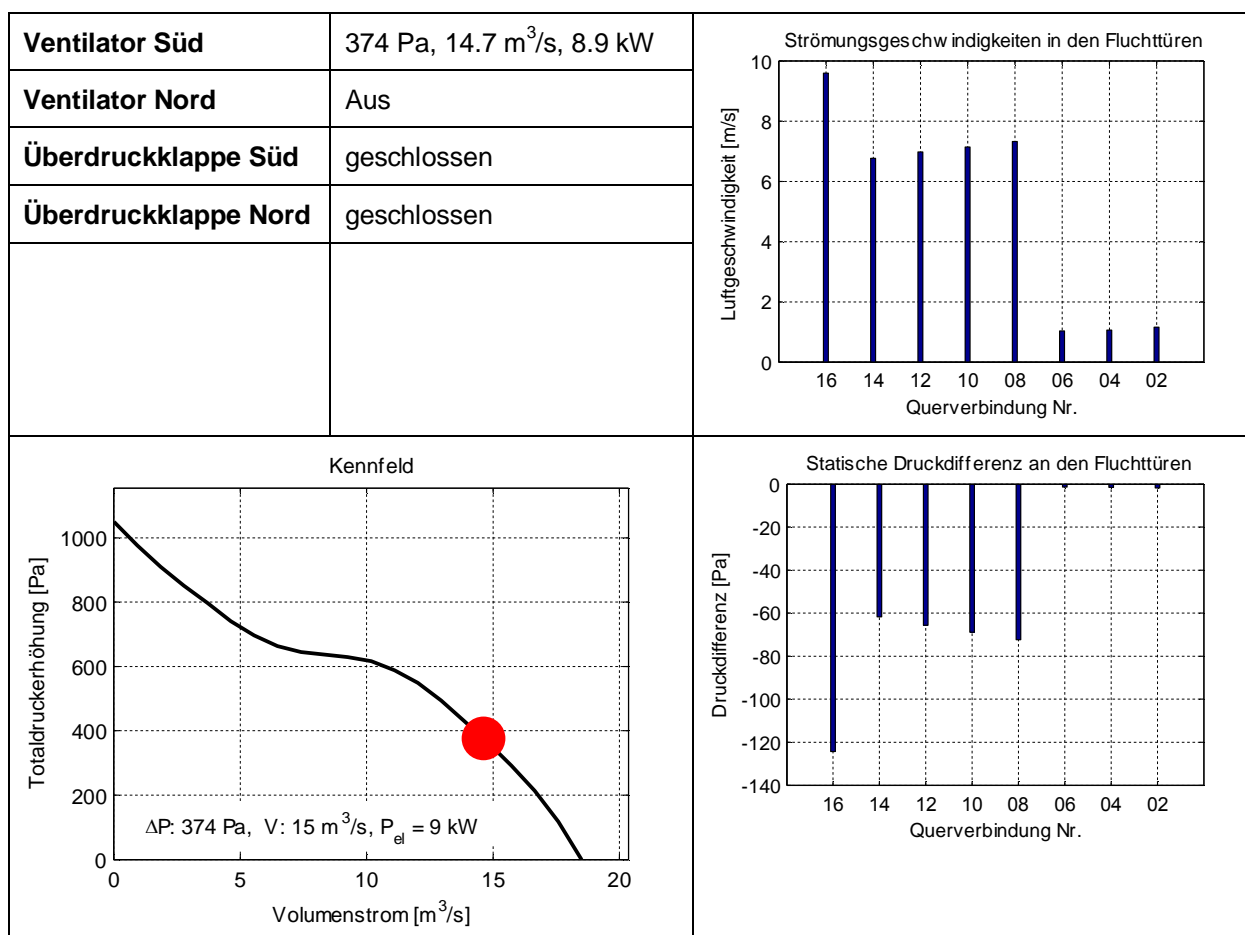
Fall S3s mit Auftrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)							
Ventilator Süd	Schutzbetrieb							
Ventilator Nord	Aus (nicht verfügbar)							
Auftrieb / Abtrieb	Auftrieb 63 Pa							

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen	Offen	Offen
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



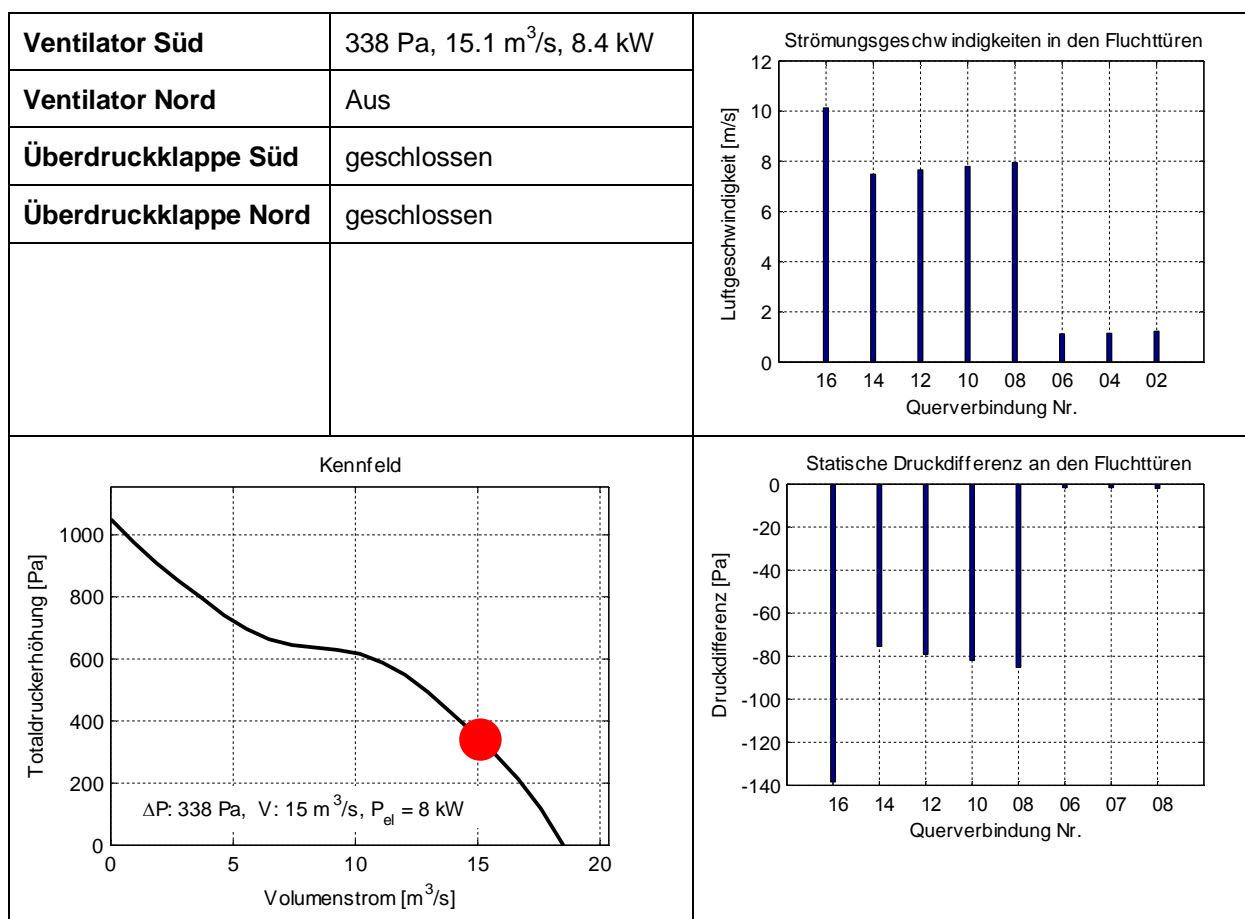
Fall S3s ohne Auftrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Schutzbetrieb
Ventilator Nord	Aus (nicht verfügbar)
Auftrieb / Abtrieb	Ohne

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen	Offen	Offen
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



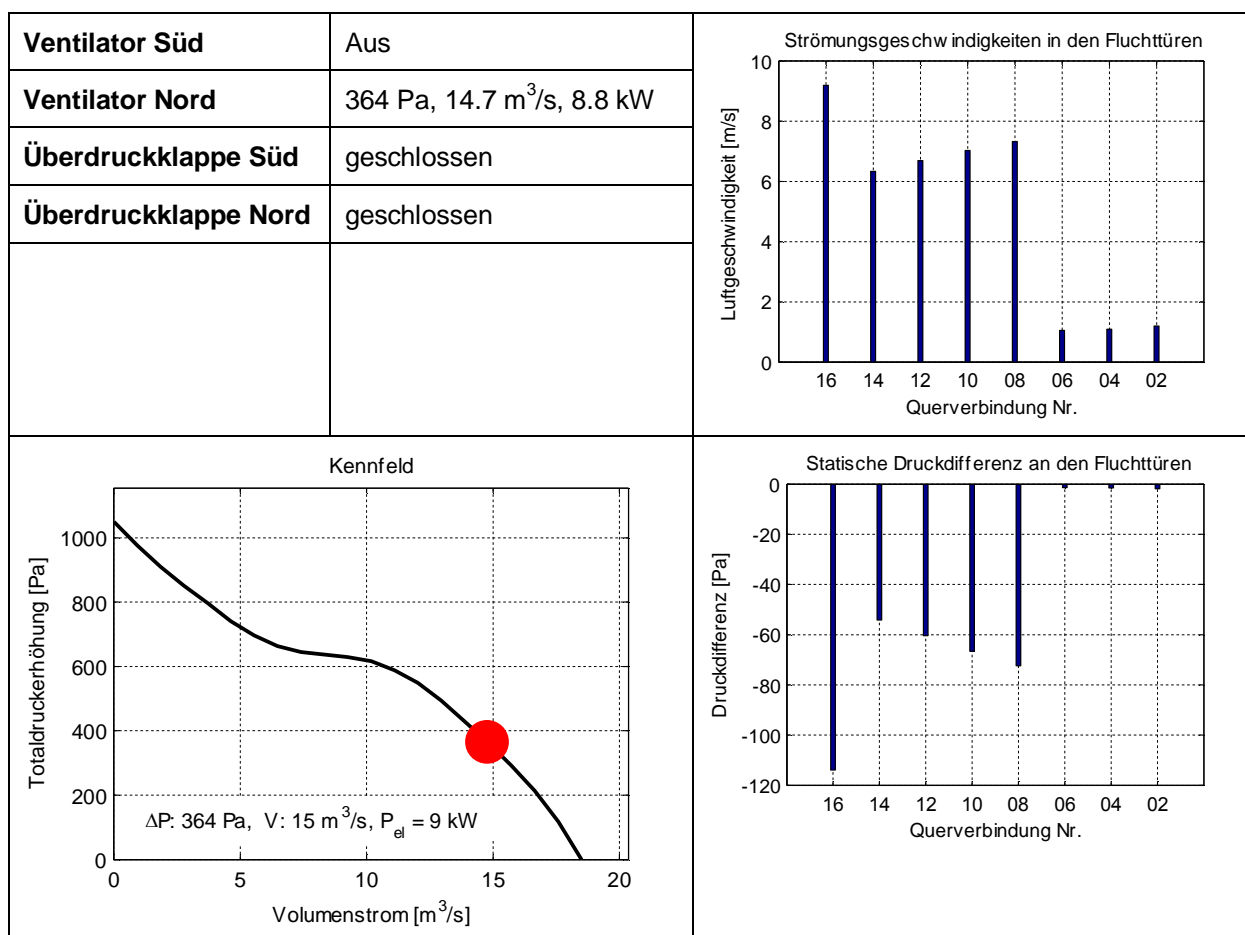
Fall S3n mit Abtrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Aus (nicht verfügbar)
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Abtrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen	Offen	Offen
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



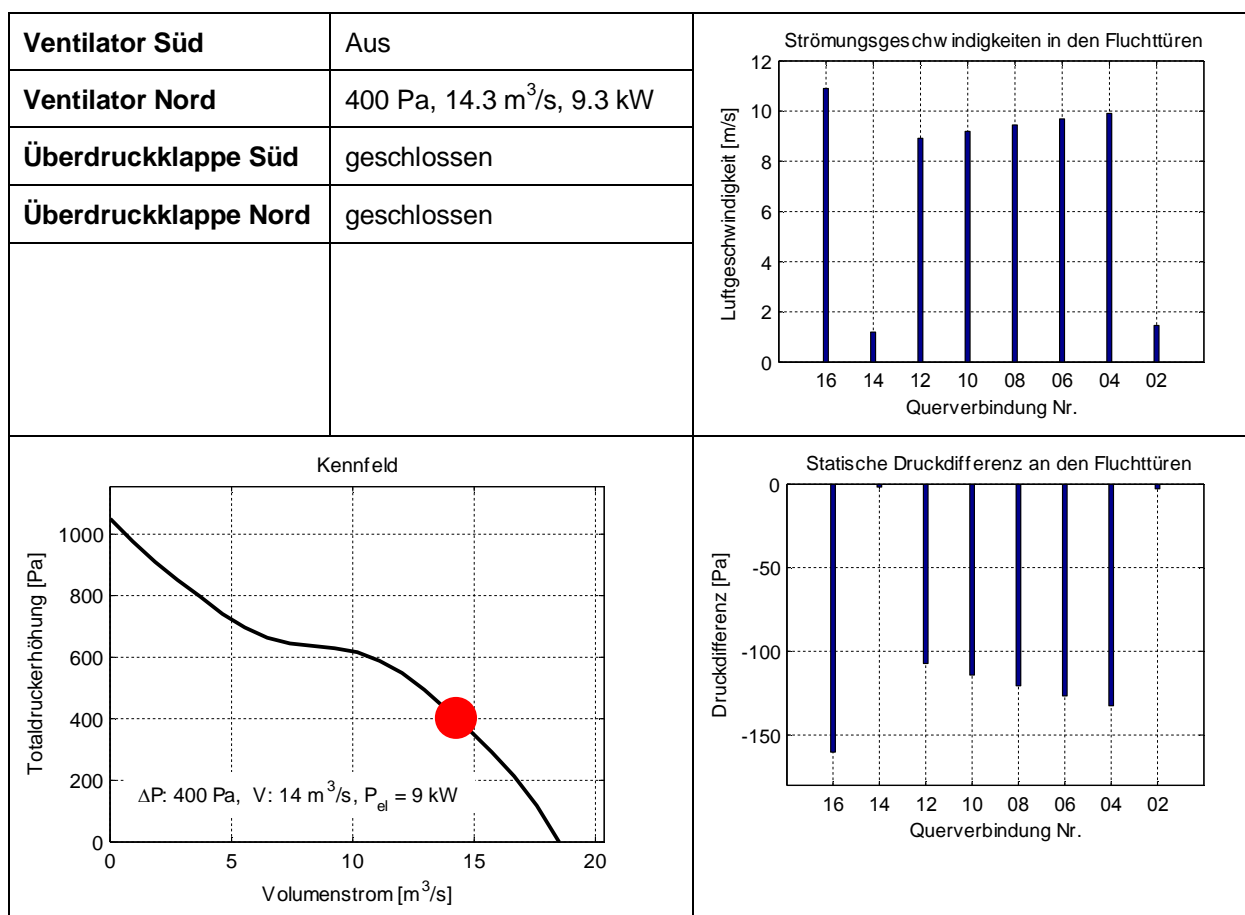
Fall S4n mit Abtrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Aus (nicht verfügbar)
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Abtrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Offen	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



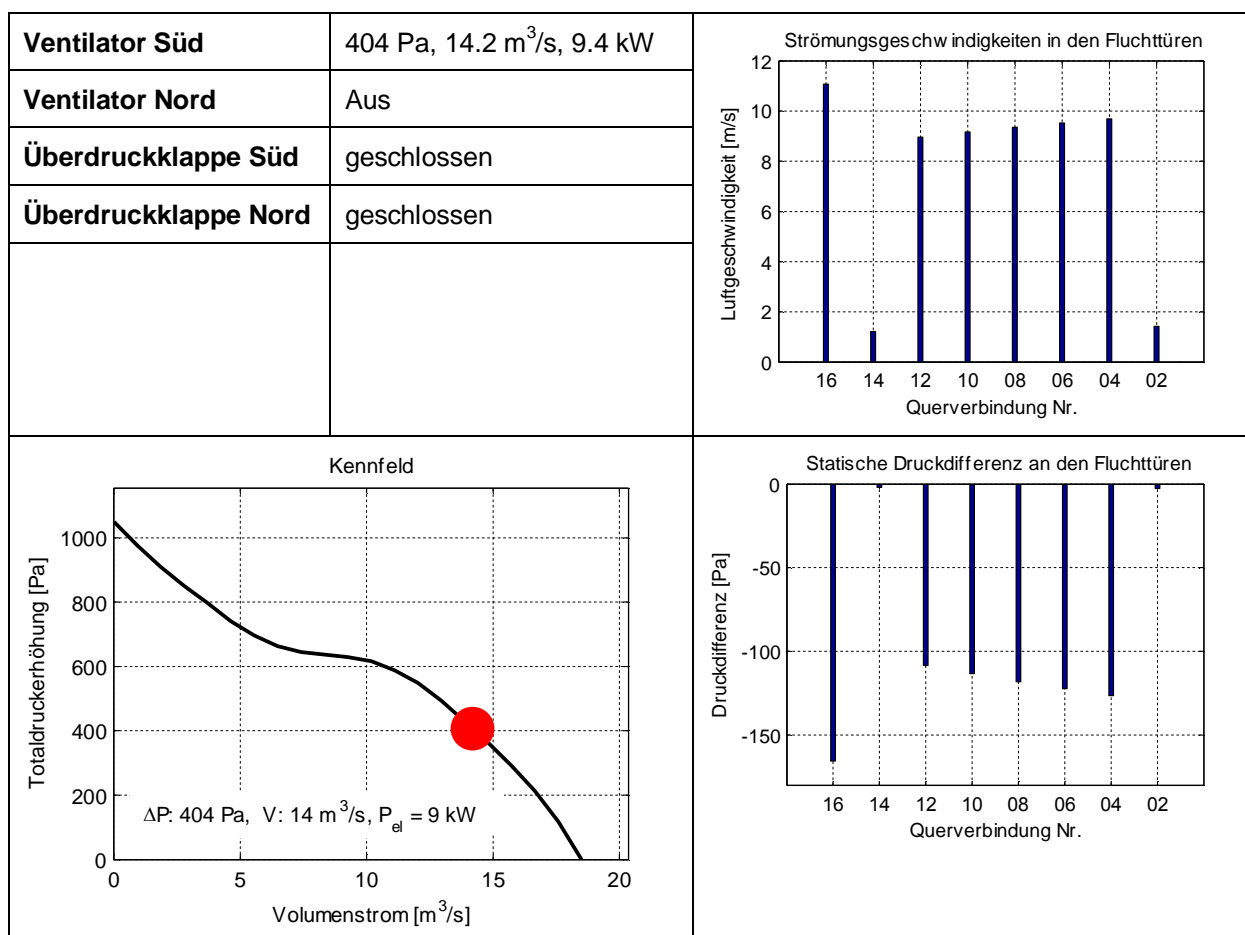
Fall S4s mit Auftrieb

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb (Redundanzfall)
Ventilator Süd	Aus (nicht verfügbar)
Ventilator Nord	Schutzbetrieb
Auftrieb / Abtrieb	Auftrieb 63 Pa

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Offen	Zu	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse



Fall S5ns

Randbedingungen

Betriebsart	Schutzbetrieb							
Ventilator Süd	Schutzbetrieb							
Ventilator Nord	Schutzbetrieb							
Auftrieb / Abtrieb	Ohne							

QV	QV 16	QV 14	QV 12	QV 10	QV 08	QV 06	QV 04	QV 02
Zustand	Zu	Zu	Zu	Zu	Offen	Zu	Zu	Zu
Überdruck im Fahr- raum [Pa]	+7	+67	+61	+55	+49	+44	+39	+23

Ergebnisse

