

Umsetzung der Norm SIA 269 für Seilbahnen

Prof. Thomas Vogel, ETH Zürich

Technische Tagung der Bauingenieure im Bereich Seilbahnen

Bundesamt für Verkehr (BAV)

Ittigen, 17. Juni 2015

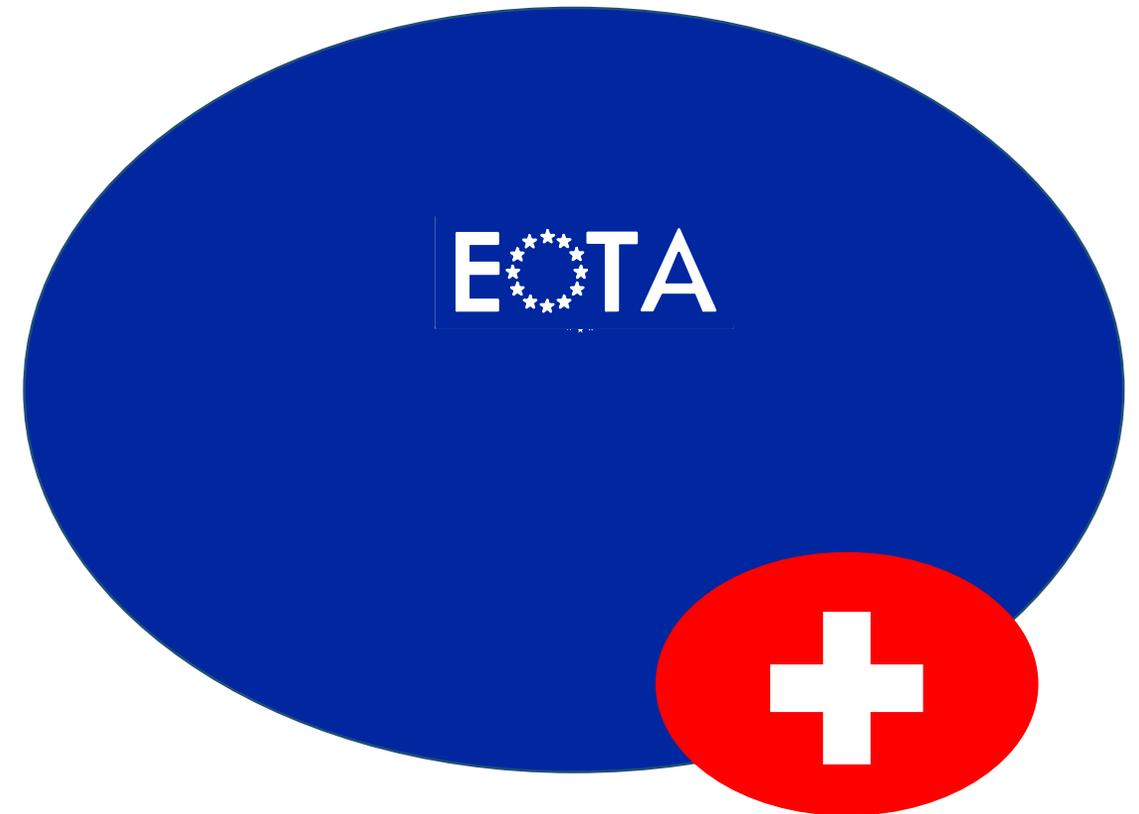
Inhalt

- Beziehung und Anwendung der verschiedenen Normenreihen SN EN, EC, SIA
 - Fazit
 - SIA-Projekt NDP (CH)
- Hierarchie der Erhaltungsnormen und Stellung im SIA-Normenwerk
- Begriffe der Erhaltung
- Das Beispiel
 - Fachwerkstütze 2 der Seilbahn X-Y
 - Überprüfung durch Ingenieur Z
- Generelle Überprüfung
 - Zustandserfassung
- Detaillierte Überprüfung
 - Zustandserfassung (cont.)
 - Zustandsklassen
 - Zustandsbeurteilung
- Aktualisierungen
 - der Einwirkungen
 - der Baustoff- und Baugrundeigenschaften
 - der geometrischen Grössen
 - der Tragwerksmodelle und des Verformungsvermögens
- Bemessungssituationen
- Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit
- Verstärkungsmassnahmen
- Probabilistischer Nachweis der Tragsicherheit
 - Sicherheitsniveau
 - Semi-probabilistisches Verfahren
 - Anwendung 1
 - Abschätzung Versagenswahrscheinlichkeit
 - Anwendung 2
 - Verhältnismässigkeit
- Schlussfolgerungen
- Referenzen

Beziehung und Anwendung der verschiedenen Normenreihen SN EN, EC, SIA (1)



Private Vereinigungen



Regierungsgremien

Beziehung und Anwendung der verschiedenen Normenreihen SN EN, EC, SIA (2) **Variante A**

SN EN 12930:2015
Sicherheitsanforderungen für
Seilbahnen für den
Personenverkehr - Berechnungen

NV und NA
ausstehend

SN EN 13107:2004
Sicherheitsanforderungen für
Seilbahnen für den
Personenverkehr - Bauwerke

SN EN 13107:2004 D
Nationales Vorwort

SN EN 13107
EUROPÄISCHE NORM

Annex NA (informativ)
Nationaler Anhang

Charakter der SIA-Normen:
Diese Normenserie mit den Nummern SIA 260 bis SIA 267 stellt eine kompakte Form der Bestimmungen der Eurocodes abgestimmt auf unsere nationalen Verhältnisse dar. Sie kann gemäss den Richtlinien der Kommission der europäischen Gemeinschaft in der Schweiz alternativ Verwendung finden.
[Nationale Vorworte zu EN 1990ff]

Anwendbare schweizerische Normen

- Instandhaltung:
 - SIA 469
- Lokale Windkräfte:
 - SIA 261, Empfehlungen MeteoSchweiz
- Lokale Schneeeinwirkungen:
 - SIA 261, Empfehlungen SLF
- Lawinen:
 - SIA 261/1, Empfehlungen SLF
- Erdbebeneinwirkungen:
 - SIA 261
- Bestimmungen im Brandfall:
 - SIA 260 & 261, Empfehlungen VKF
- ...

Beziehung und Anwendung der verschiedenen Normenreihen SN EN, EC, SIA (2) **Variante B**

Kap. 2 Normative Verweisungen (bezüglich Einwirkungen)

SN EN 12930:2015
Sicherheitsanforderungen
für Seilbahnen für den
Personenverkehr -
Berechnungen

SN EN 13107:2004
Sicherheitsanforderungen
für Seilbahnen für den
Personenverkehr -
Bauwerke

- **Europäische Normen EN**
 - 1990, 1991-1-1, 1991-1-4
- **Europäische Vornormen ENV**
 - 1991-1-1, 1991-2-4, 1991-2-6,
1991-2-7, 1991-4, 1991-5
- **Europäische Normen EN**
 - 1990, 1991-1-1, 1991-1-2,
1991-1-3, 1991-1-5, 1991-2

Zusammenhänge:

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur als Gesamtes sinnvoll ist.

NDPs CH:

Die Schweiz verzichtet bis auf Weiteres auf die Festlegung nationaler Parameter, da die nationalen Tragwerksnormen SIA 260 bis SIA 267 einer adäquaten Umsetzung der Eurocodes für Schweizer Verhältnisse entsprechen.

Beim Einsatz der Eurocodes in der Schweiz sind die national festzulegenden Parameter projektbezogen zwischen Bauherr und Planer zu vereinbaren und in der Nutzungsvereinbarung zu dokumentieren.

[Nationale Vorworte zu EN 1990ff]

Fazit

Ausgangslage:

- Die SIA-Normen sind operativ anwendbar, decken aber nicht alle Spezialitäten von Seilbahnen ab.
- Die EN-Normen sind umfassender, weisen aber im Bereich der NDP(CH) noch Lücken auf.
- Die Norm EN 13107 bezieht sich noch teilweise auf die ENV.

Wichtigster Unterschied (bei gleichen Bezeichnungen)		
	SIA-Normen [SIA 260]	Eurocodes [EN 1990]
ψ, ψ_i	Reduktionsbeiwerte	Kombinationsbeiwerte
Bemessungswert F_d	$LE : F_d = \gamma_f F_{rep}$ $BE : F_d = \psi_i F_k$	$F_d = \gamma_f F_{rep} = \gamma_f \psi F_k$

Pragmatisches Vorgehen:

- Verwendung der EN 12930 und 13107 für die seilbahnspezifischen Festlegungen.
- Verwendung der Normenreihen SIA 260 und SIA 269 (subsidiär), soweit es sich um Tragwerke handelt.
- Zwingende Verwendung der Eurocodes,
 - wo die SIA-Normen auf diese verweisen.
- Alternative Verwendung der Eurocodes
 - wo die SIA-Normen Lücken aufweisen,
 - wenn NDP(CH) vorhanden,
 - wenn NDP projektspezifisch bestimmt werden können.

Projekt *Erarbeitung national festzulegender Parameter zu Eurocodes*

Aktueller Stand

Variante B

[tec21 11/2015]

Erstes Paket

- SN EN 1990: Grundlagen **01.05.2014**
- SN EN 1991: Einwirkungen
 - SN EN 1991-1-1 EL, NL **≈ März 2015**
 - SN EN 1991-1-2 Brand **≈ März 2015**
 - SN EN 1991-1-3 Schnee **≈ März 2015**
 - SN EN 1991-1-4 Wind **≈ 01.06.2015**
- SN EN 1992: Betonbau **01.05.2014**
- SN EN 1995: Holzbau **01.05.2014**
- SN EN 1996: Mauerwerksbau **01.05.2014**

Publikation

Zweites Paket

- SN EN 1993: Stahlbau
- SN EN 1994: Verbund
- SN EN 1998: Erdbeben
- Vernehmlassung **≈ Ende 2015**
- Publikation **≈ Mitte 2016**
- **SN EN 1997: Geotechnik ?**

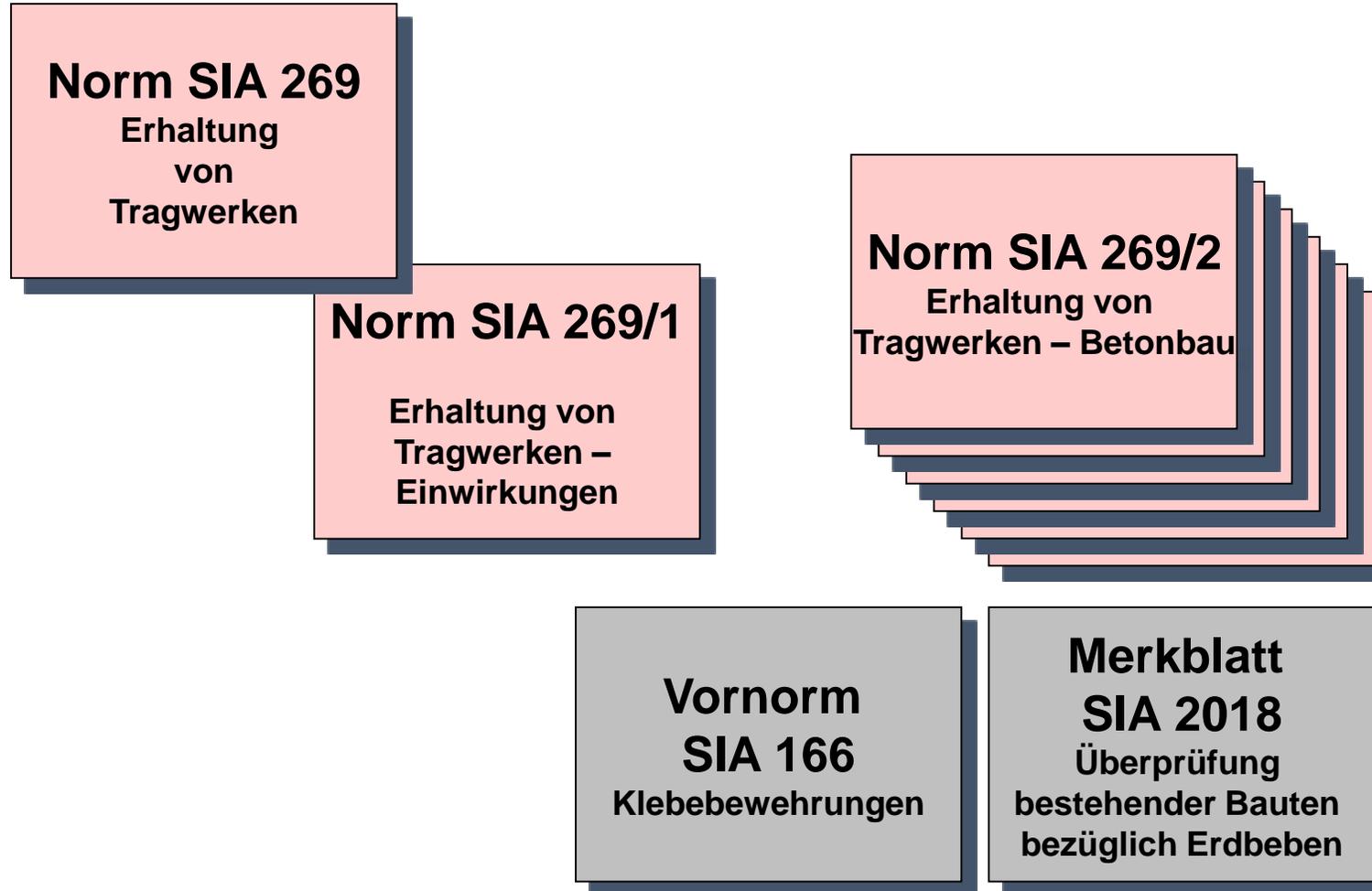
Mit den neu normativ festgelegten NDP kann die bisher gültige Praxis aufgehoben werden, wonach die Parameter projektspezifisch zwischen Planer und Bauherr individuell festzulegen sind.

[26.07.2013 | tec21 | Dr. Paul Lüchinger, Dr. Manuel Alvarez]

Hierarchie der Erhaltungsnormen

Grundnorm

Bauweisenspezifische Normen

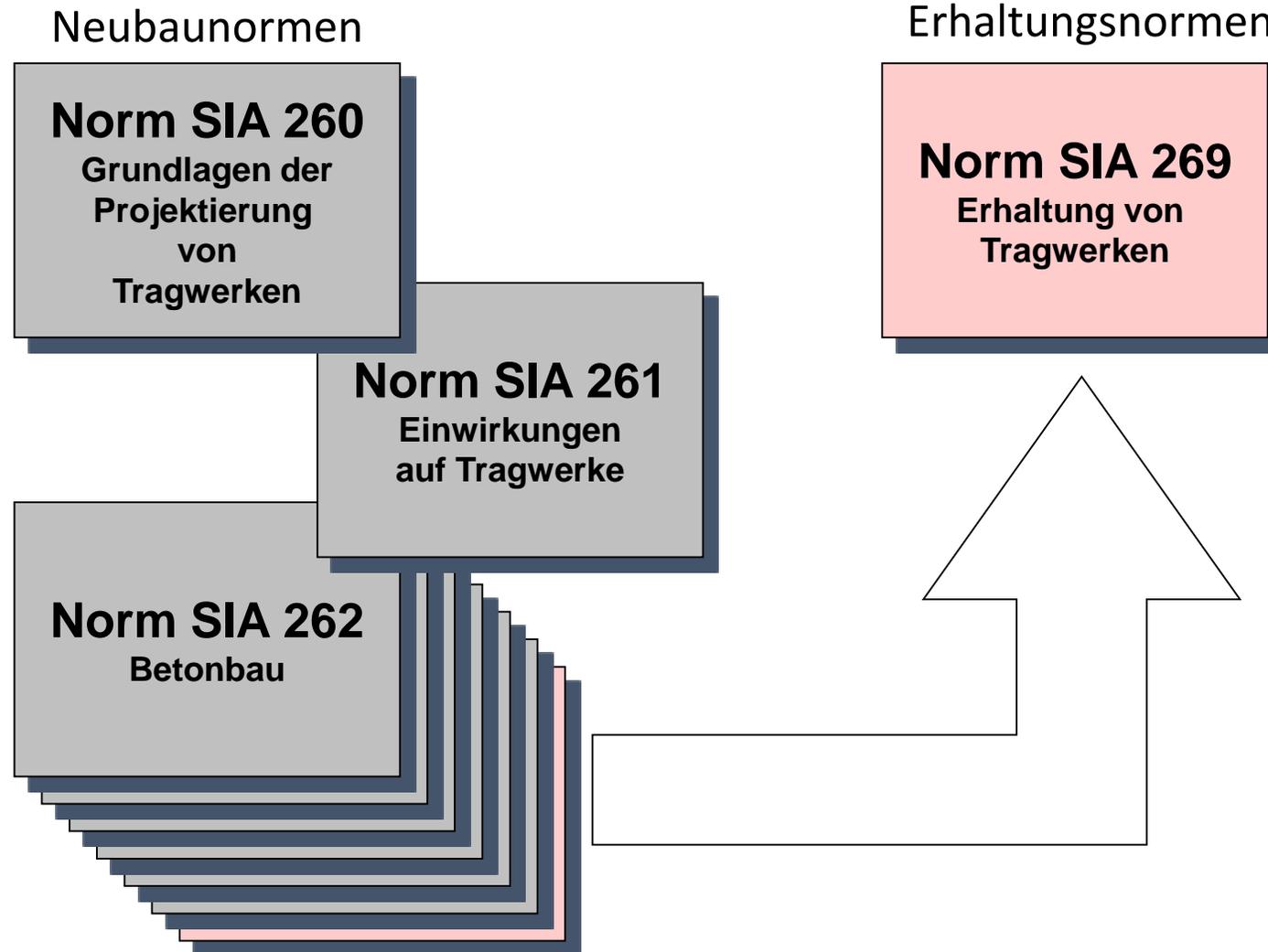


Generation 2011

Nachzügler:

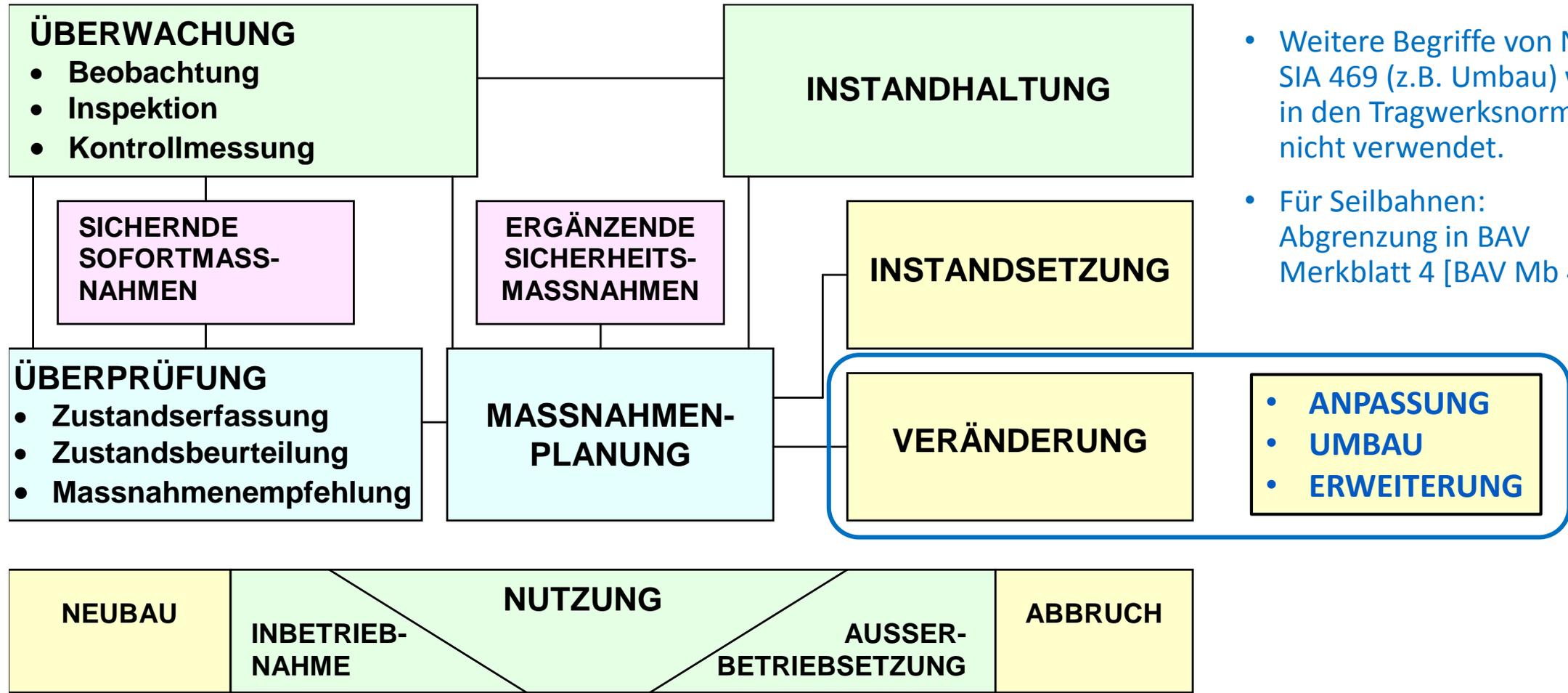
- SIA 269/6-2:
 - Mauerwerk aus künstlichen Steinen
- SIA 269/8:
 - Erdbeben
 - Vernehmlassung 2014
 - Ersatz für SIA 2018

Stellung der Erhaltungsnormen im SIA-Normenwerk



- Neubaunormen
 - Generation 2003
 - Teilrevisionen 2013 ff
- Erhaltungsnormen
 - Generation 2011

Begriffe der Erhaltung

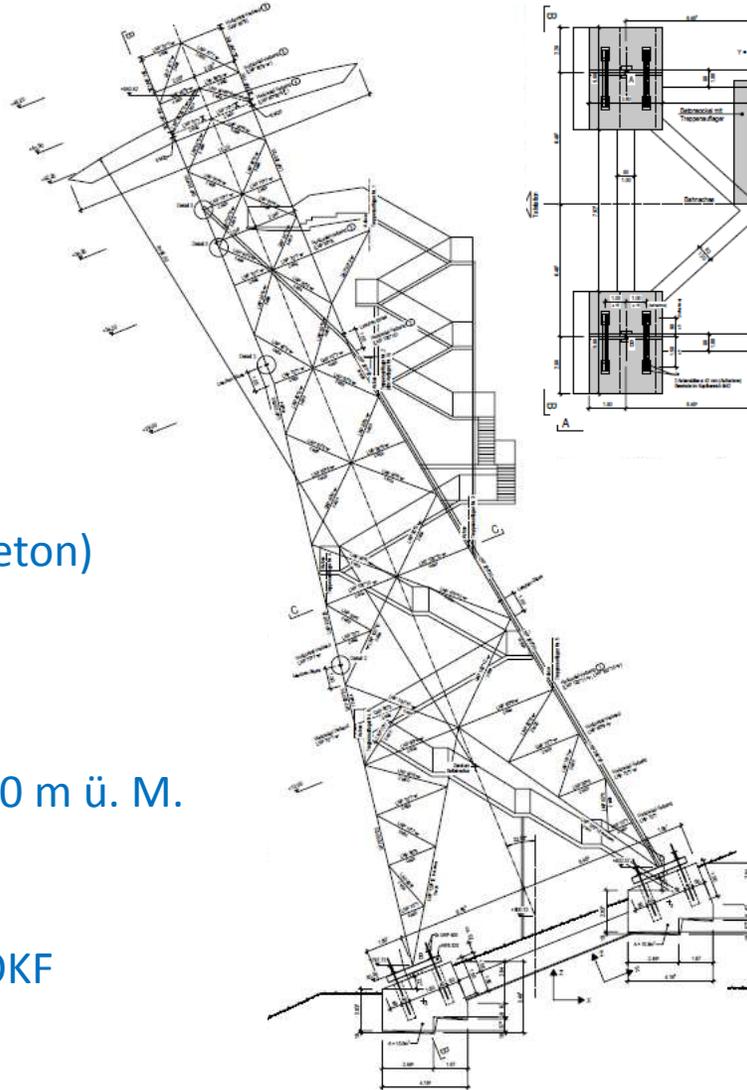


- Erstmals in Empfehlung SIA 162/5 verwendet
- Für Norm SIA 260 modifiziert
- Weitere Begriffe von Norm SIA 469 (z.B. Umbau) werden in den Tragwerksnormen nicht verwendet.
- Für Seilbahnen: Abgrenzung in BAV Merkblatt 4 [BAV Mb 4]

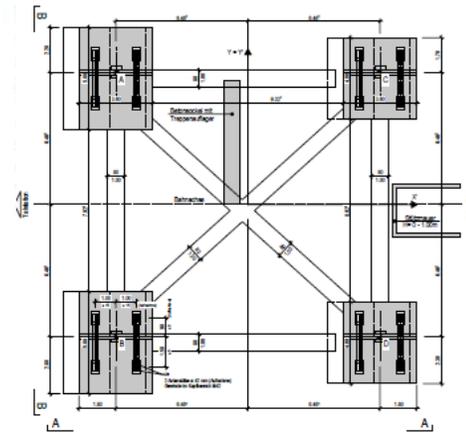
Das Beispiel

- Doppelspurige Pendelbahn
- Förderleistung
 - heute 550 P/h
 - Projekt 474 P/h
- Adhäsionsantrieb in Talstation
- Spanngewichte:
 - Tragseile in Talstation (2x 92 t Beton)
 - Zug-/Gegenseil in Bergstation (33 t Beton)
- Fachwerkstütze 2
 - Oberkante Fundament (OKF) 800 m ü. M.
 - Im Längsprofil 22° geneigt
 - Höhe Stütze: 46.70 m ab OKF
 - Höhe Seilauflager: 43.56 m ab OKF

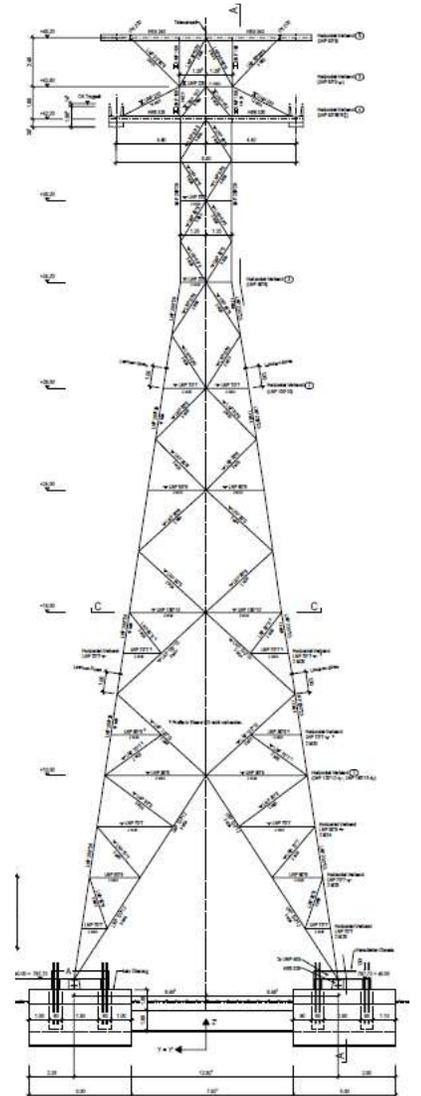
Ansicht parallel zu Hang



Aufsicht Fundament



Ansicht abwärts - Achse



Generelle Überprüfung

[SIA 269] Ziffer 6.1.3

Generelle Überprüfung [SIA 269] Anhang A Grundlagen

- Studium der Bauwerksakten
- Aktualisierung Nutzungsvereinbarung
- Aktualisierung Projektbasis

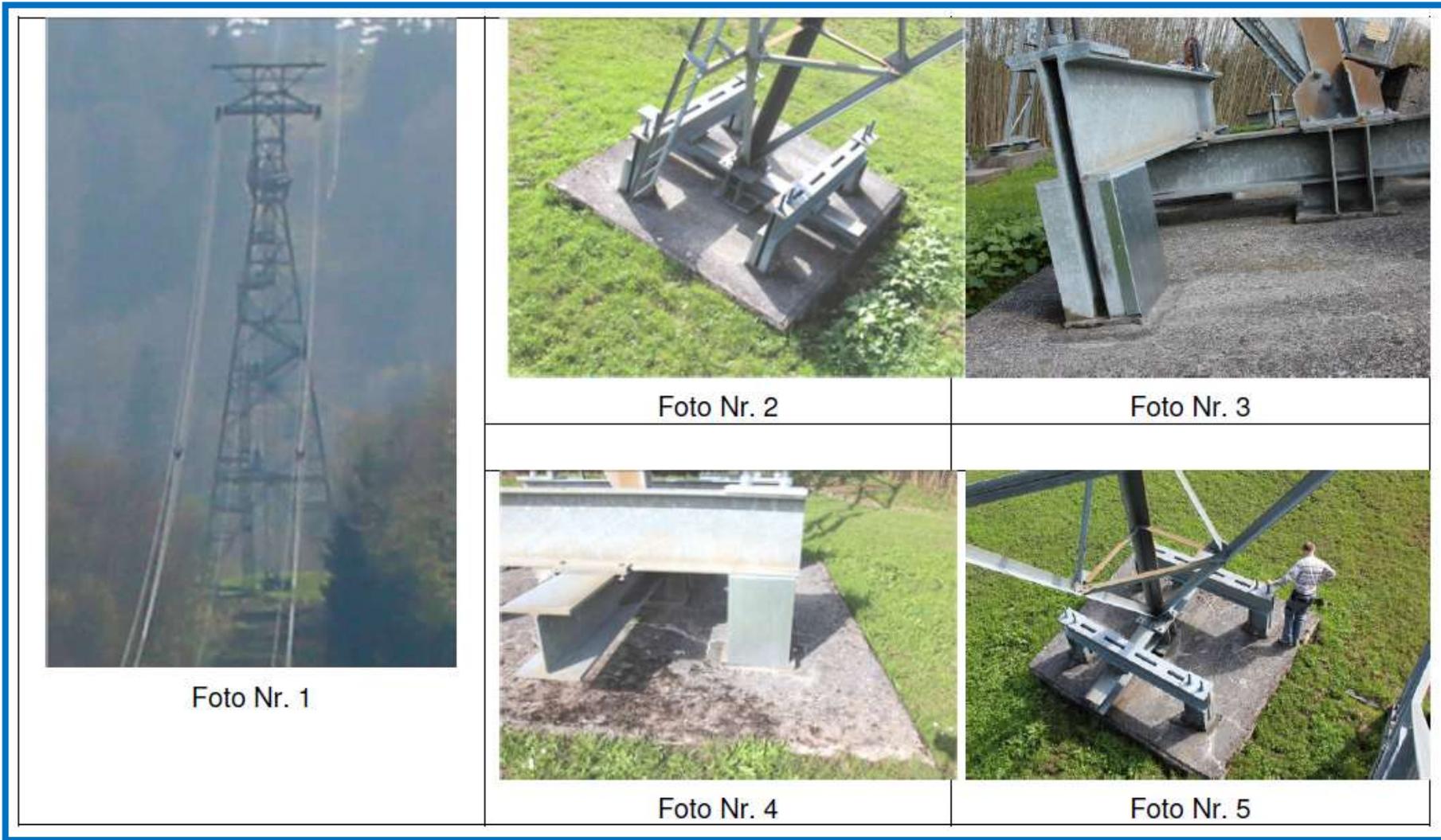
Nutzungsvereinbarung neu erstellt [NV]

- Restnutzungsdauer Tragkonstruktion: 25 Jahre
- Verifikation Längenprofil (Geländebewegungen)
- Konzept Windmessungen
- Vorgehen bei Vereisung
- Schutzgerüst über Autobahn
- Schutzziele und Sonderrisiken
- Normbezogene Bestimmungen (u.a. SIA 269/n, SebG, SebV, SN-EN nnn)
- (Projektspezifische) Grundlagen

Projektbasis neu erstellt [PB]

- Verschiebung Stütze 2 1971-2013: 1.31 m
- Aktualisierte Baustoffe (Beton, Betonstahl, Zugstangen, Baustahl, Schrauben)
- Aktualisierte Widerstandsbeiwerte
- Aktualisierte Einwirkungen
 - Eigen- und Auflasten: unverändert gegenüber 1971
 - Nutzlast (neue) Podeste: [SIA 261:2003], [EN 13107]
 - Bahnlast: siehe unten
 - Klima: Verweis auf Bericht [BUe]
 - Natur- und weitere Gefahren: Verweis auf Gutachten
- Dynamik Seilbahntechnik
- Aktualisierte Gefährdungsbilder

Zustandserfassung (3)



- Bezeichnung der Bauteile
- Dokumentation mit Fotos
- Legenden erforderlich für Unbeteiligte

Zustandserfassung (4)

FESTSTELLUNGEN

Keine besonderen Feststellungen

Beschreibung der Feststellungen (Nächste Seite)

ZUSTANDBEURTEILUNG

Stufen: 1 = Gut / 2 = Annehmbar / 3 = Schadhaf / 4 = Schlecht / 5 = alarmierend /
91 = nicht überprüfbar, Gefährdung unwahrscheinlich / 92 = nicht überprüfbar, Gefährdung
wahrscheinlich

Beurteilung (mit X markieren)

1	2	3	4	5	91	92
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Bemerkungen:

(92) Einbetonierte Ankerstangen

(92) Bauwerksverschiebungen

- Schematisches Vorgehen
- Erwähnung von Lücken

Zustandserfassung (5)

FESTSTELLUNGEN

Teilbauwerk: Stütze 2

Bauwerksteil	Lokalisierung	Mangel-Schaden	Eingrenzung-Ausdehnung	Ursache	Änderung	Zustandsklassen	Foto
Stützenfuss	Ankerstab	Korrosionsgrad im Übergang Beton unbekannt	8 Ankerstäbe pro Fundament	Feuchtigkeit, Sauerstoff	zunehmend	92	Nr. 6
Fundamentbeton inkl. Vergussbeton	Betonoberflächen der Fundamente	Schwindrisse, Wasserzutritt, Versinterung, teilweise moosartiger Bewuchs	lokal, über Oberflächen verteilt	Ausführungsmangel (Risse), Wasserzutritt	Fundament: gleichbleibend Verguss: leicht zunehmend	2	Nr. 7
Stützenverschiebung gem. geodätischer Vermessung	Gesamtes Bauwerk	Keine	Gesamtes Bauwerk	Terrainbewegung	zunehmend	92	-



Foto Nr. 6



Foto Nr. 7



Foto Nr. 8 (Güteraufzug)



Foto Nr. 9

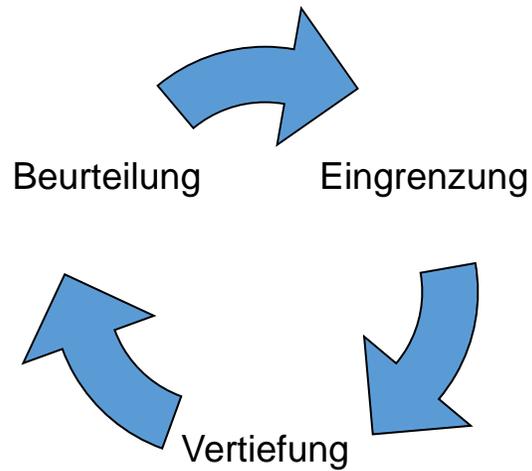
Detaillierte Überprüfung

[SIA 269] Ziffer 6.1.4

Detaillierte Überprüfung [SIA 269] Anhang A Zustandserfassung

- vertiefte Untersuchungen relevanter Bauteile
- messtechnische Untersuchungen
- Laborprüfungen

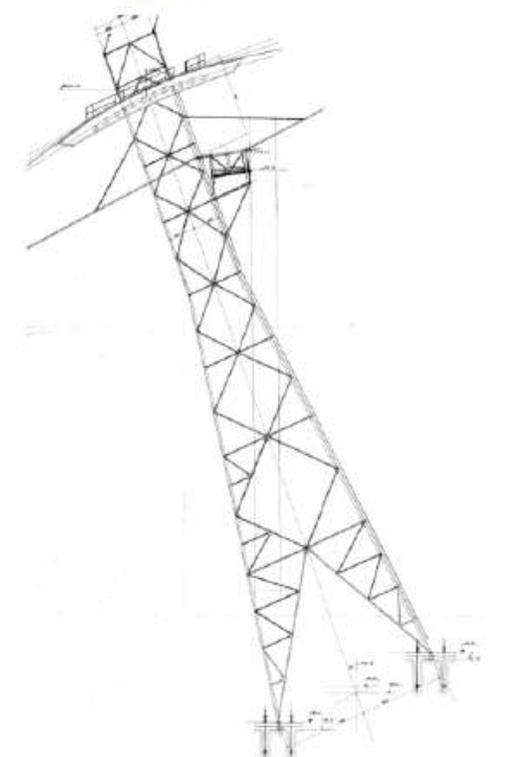
6.1.4.1 Eine detaillierte Überprüfung ist durchzuführen, falls in der generellen Überprüfung der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen nicht erbracht werden kann und wenn der damit verbundene Aufwand den erwarteten Nutzen rechtfertigt.



6.1.4.2 Die detaillierte Überprüfung beschränkt sich in der Regel auf ausgewählte Teile eines Tragwerks und kann in mehreren Stufen mit zunehmender Vertiefung erfolgen.

Zustandserfassung (6)

Fachwerkstützen

Stütze 2, Baujahr 1971		
Mitteilungen und Anträge	Stütze: Fachwerkstütze mit Treppenanlage	Längsschnitt
<input type="checkbox"/> - SOMA, ÜMA	Identifikation:	
<input checked="" type="checkbox"/> - Betrieblicher Unterhalt	<input checked="" type="checkbox"/> Winkelprofile	
<input checked="" type="checkbox"/> - Bauliche Massnahmen	<input type="checkbox"/> Hohlprofile	
<input checked="" type="checkbox"/> - Antrag det. Überprüfung/ zusätzliche Untersuchungen	<input type="checkbox"/> Stahlbauschrauben Zoll	
	<input checked="" type="checkbox"/> Stahlbauschrauben metrisch	
	<input type="checkbox"/> HV-Schrauben	
	<input type="checkbox"/> Korrosionsschutz intakt	

- Aufwand für Zugang grösser als bei Fundamenten

Zustandserfassung (7)



Zustandserfassung (8)

FESTSTELLUNGEN

Keine besonderen Feststellungen

Beschreibung der Feststellungen (Nächste Seite)

ZUSTANDBEURTEILUNG

Stufen: 1 = Gut / 2 = Annehmbar / 3 = Schadhft / 4 = Schlecht / 5 = alarmierend /
91 = nicht überprüfbar, Gefährdung unwahrscheinlich / 92 = nicht überprüfbar, Gefährdung
wahrscheinlich

Beurteilung (mit X markieren)

1	2	3	4	5	91	92
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bemerkungen:

Milchbahn ausser Betrieb.
Korrosionsschutz durch Spezialist beurteilen lassen.
Stützenfussverankerung statisch überprüfen.

FESTSTELLUNGEN

Teilbauwerk: Stütze 2

Bauwerksteil	Lokalisierung	Mangel-Schaden	Eingrenzung-Ausdehnung	Ursache	Änderung	Zustandsklassen	Foto
Ganze Stütze	zahlreiche Bauteile	Flugrost (kein Materialverlust)	flächig	Feuchtigkeit, Sauerstoff	zunehmend	3	Nr. 9
Ganze Stütze	Verbindungen	Keine HV-Schrauben	-	Stand der Technik	-	3	-
Horizontale Ausfachung beim Knick des Eckstiels	bergseitige Stäbe	2 Verbandstäbe fehlen (rot), durch kürzere „Eckbleche“ ersetzt	lokal	Behinderung der stillgelegten Milchbahn	gleichbleibend	3	Nr. 8
Stützenfuss	Fussplatte	Unregelmässige Verankerung, geringe Randabstände	Eckstiel Tal links und Eckstiel Berg rechts	Ungenauigkeit bei der Montage 1971	gleichbleibend	2	Nr. 6
Stützenfuss	Fussplatte	Spalt 1-4 mm zwischen Fussplatte und Sockel	Einseitig bei jeder Fussplatte	Ungenauigkeit bei der Montage 1971	gleichbleibend	1	Nr. 7
Seilsattel-Halterung	H-Profil	stehendes Wasser	auf bergseitigem Unterflansch	keine Abflussmöglichkeit	gleichbleibend	1	Nr. 9
Seilschuhträger	Oberseite, Innenseiten	Fettflecken von Tragseilschmierung	-	Bahnbetrieb	-	1	



Foto Nr. 6



Foto Nr. 7



Foto Nr. 8



Foto Nr. 9

Zustandsklassen (1)

- Keine Angaben (mehr) in der Normenreihe SIA 269
- Nach [VSS SN 640 904] verschiedene Klassierungen
- Klassierung für Inspektionen nach [ASTRA 62014] setzt sich langfristig durch.

Zustandsklassen ZK Classes d'état CE		
Fahrbahnen <i>Chaussées</i>	Kunstabauten (Bauwerksteile) <i>Ouvrages d'art (parties d'ouvrage)</i>	Technische Ausrüstungen (Anlageteile) <i>Installations électromécaniques (parties d'installation)</i>
0 Zustand gut <i>Etat bon</i> 1 mittel <i>moyen</i> 2 ausreichend <i>suffisant</i> 3 kritisch <i>critique</i> 4 schlecht <i>mauvais</i> 5	▲ keine oder geringfügige Schäden 1 <i>pas de dommage ou dommages minimes</i> ▼ ▲ unbedeutende Schäden 2 <i>dommages peu significatifs</i> ▼ ▲ bedeutende Schäden 3 <i>dommages significatifs</i> ▼ ▲ grosse Schäden 4 <i>dommages importants</i> ▼ ▲ Sicherheit gefährdet 5 <i>sécurité compromise</i> ▼	0 gut FS gut <i>bon</i> <i>SF bonne</i> 1 gut bis mittel FS ist gewährleistet <i>moyen à bon</i> <i>SF est assurée</i> 2 mittel FS ist mit erhöhtem Aufwand zu gewährleisten <i>moyen</i> <i>SF est à assurer par dépenses additionnelles</i> 3 mittel bis schlecht FS ist mit grossem Aufwand zu gewährleisten <i>mauvais à moyen</i> <i>SF est à assurer par dépenses importantes</i> 4 schlecht FS ist nur mit besonderen Massnahmen aufrechtzuerhalten <i>mauvais</i> <i>SF est à assurer seulement si mesures particulières</i> 5
Index in $\frac{1}{10}$ Schritten <i>Indices en pas de $\frac{1}{10}$</i>	Ganze Zahlen ohne Zwischenwerte <i>Nombres entiers sans valeurs fractionnées</i>	Index in $\frac{1}{10}$ Schritten <i>Indices en pas de $\frac{1}{10}$</i>

FS Funktionssicherheit

SF Sécurité fonctionnelle

Abb. 6
Beispiele von Bewertungsmassstäben der Zustandsklassen ZK

Fig. 6
Exemples d'échelles d'évaluation des classes d'état CE

Zustandsklassen (2)

[ASTRA 62014] Seite 14

[ZB] Seite 33

Zustandsklasse	Zustandsbezeichnung	Zustandscharakterisierung	Massnahmenempfehlung
1	in gutem Zustand	keine / geringfügige Schäden	keine Massnahmen in Periode
2	in annehmbarem Zustand	unbedeutende Schäden	eventuell Massnahmen in Periode
3	in schadhaftem Zustand	bedeutende Schäden	Massnahmen in Periode
4	in schlechtem Zustand	grosse Schäden	...
5	in alarmierendem Zustand	Die Sicherheit ist gefährdet	Massnahmen sind vor der nächsten Hauptinspektion erforderlich; dringliche Massnahme
9	Zustand nicht überprüfbar	für nicht inspizierbare Infrastrukture Objekte (Bauwerksteile)	
91	Gefährdung unwahrscheinlich		
92	Gefährdung wahrscheinlich		

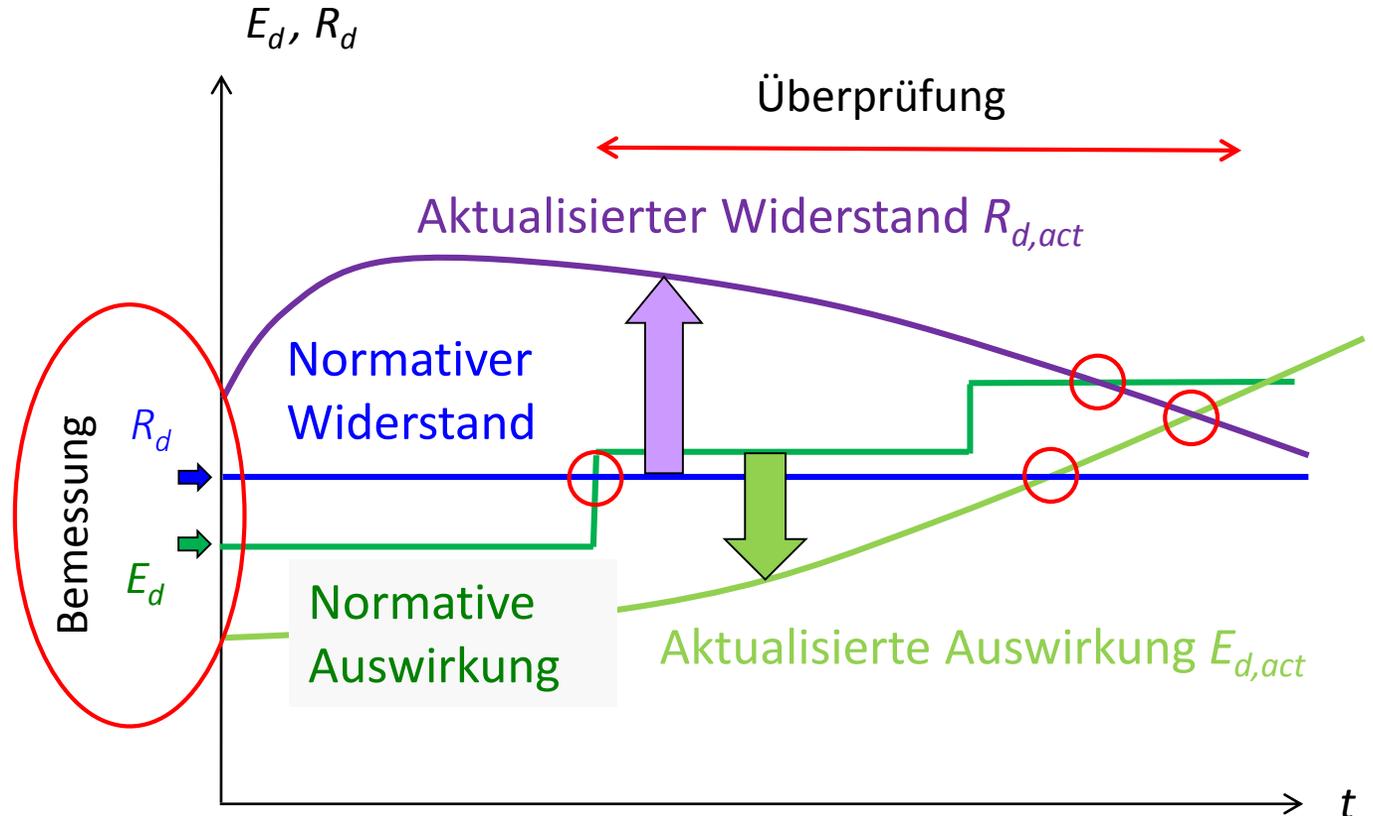
Zustandsklassen (3)

Anlageteil	Zustandsklasse		Bemerkungen
	Gesamthaft	Einzelnes Bauteil	
Talstation	2	3	...
Stütze 1	3	92	...
Stütze 2	3	92	Einbetonierte Ankerstangen nicht überprüfbar. Bauwerksverschiebungen. Überwachung. Flugrost (kein Materialverlust) an zahlreichen Bauteilen. Alle Verbindungen mit Stahlbauschrauben. 2 fehlende Verbandstäbe. Stützenfussverankerung statisch überprüfen.
Stütze 3	3	92	...
Stütze 4	3	92	...
Bergstation	2	3	

Zustandsbeurteilung

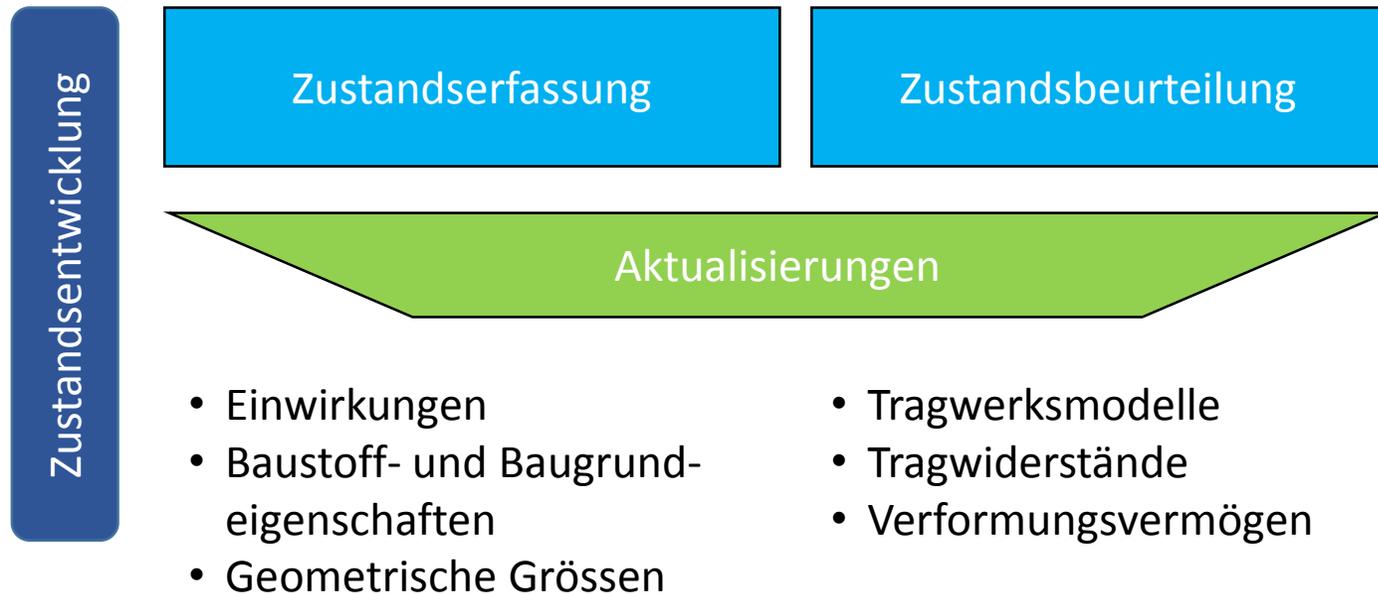
Methodik

- Quantitative Analyse ([SIA 269] Ziffer 6.3.2)
 - Nachweis von Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit
 - Vergleich Auswirkungen – Widerstände (Tragsicherheit)
 - Vergleich Auswirkungen – Gebrauchsgrenzen (Gebrauchstauglichkeit)
- Empirische Analyse ([SIA 269] Ziffer 6.3.3)
 - Vermutung einer genügenden Tragsicherheit (erfüllte Bedingungen)
 - Ergänzende Sicherheitsmassnahmen
- Prognose der Zustandsentwicklung ([SIA 269] Ziffer 6.3.4)



Aktualisierungen

- Definition
 - "Prozess, um vorhandene Kenntnisse mit neuen Informationen zu ergänzen."
[SIA 269]



Aktualisierung der Einwirkungen (1)

Baujahr 1971:
Gültige Einwirkungsnorm:
[SIA 160:1970]

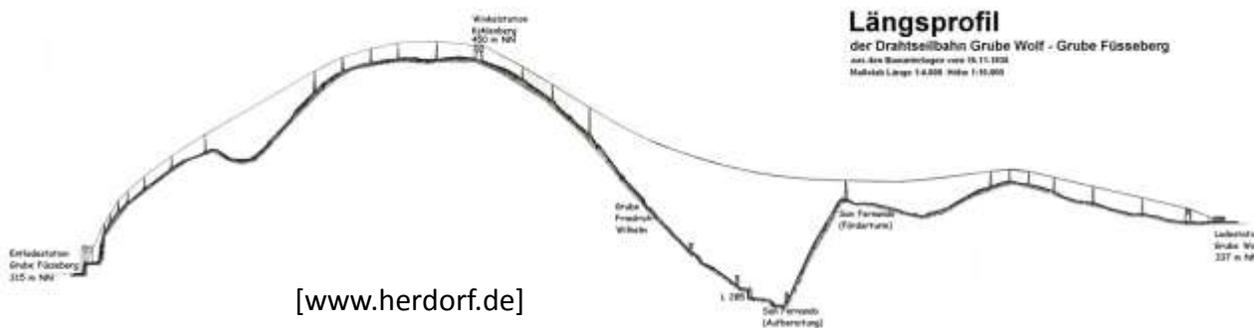
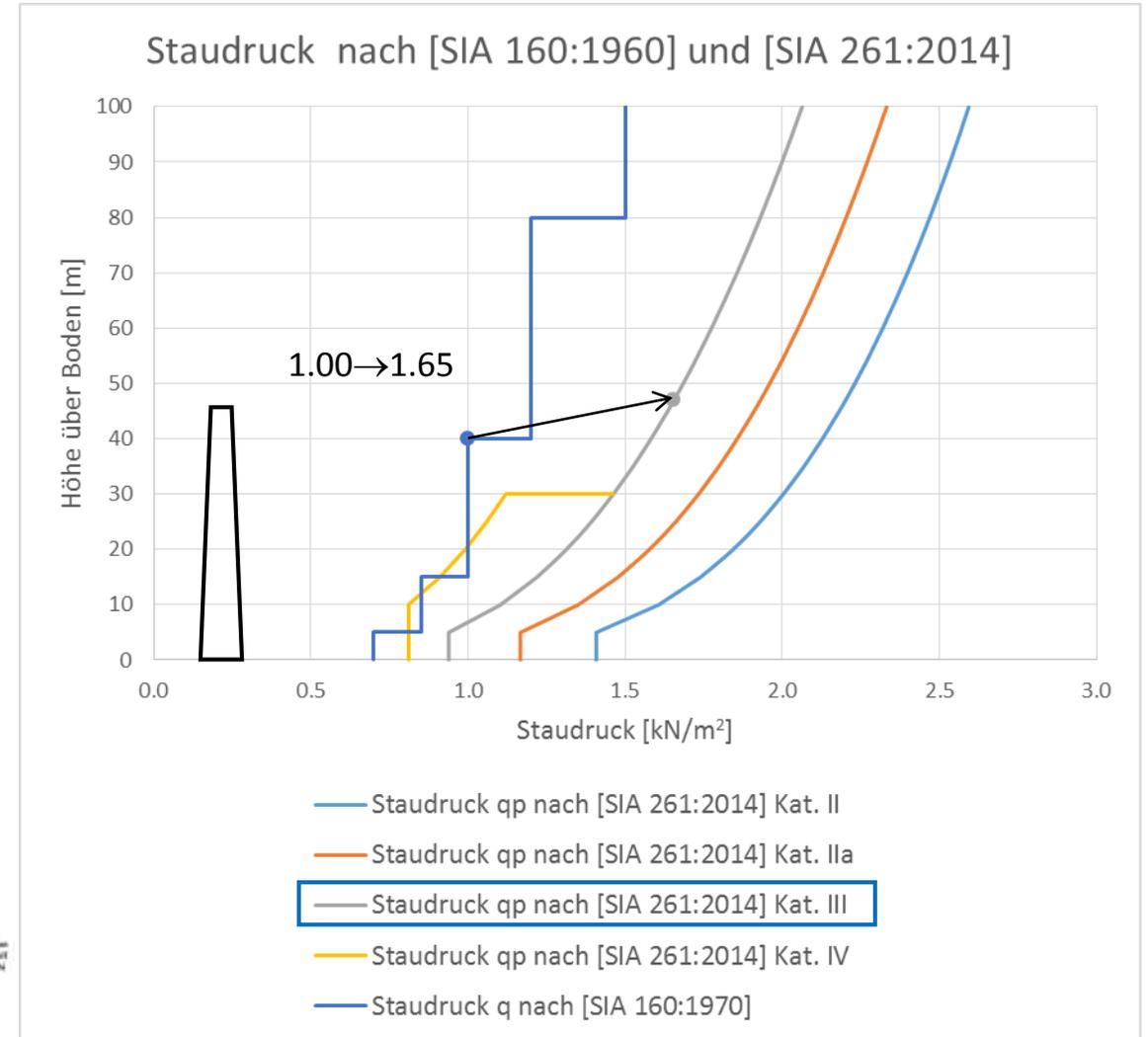
- **Eigenlast**
 - Stahlteile mit Raumgewicht γ
 - Globaler Zuschlag 10% für sekundäre Tragelemente
- **Auflasten**
 - Telecomseil mit Linienlast g_1 [kN/m]
 - Seilrollen innerhalb Tragseilsattel mit Linienlast g_2 [kN/m]
- **Seilkräfte**
 - Angaben Lieferant
- **Bahnlast**
 - dynamischer Zuschlag Fahrzeuglast $\gamma = 1.2$
 - für Tragsicherheitsnachweis
 - für Ermüdungsnachweis
- **Eislasten**
 - Raumgewicht γ_{eis} [kN/m³]
 - Bahn ausser Betrieb: Tragseil, Zugseil & Telecomseil
 - Bahn in Betrieb: nur Telecomseil (gemäss Betriebserfahrung)
- **Erdbeben**
 - Bauwerksklasse 2
 - Zone Z2
 - Baugrundklassen A und C
- **Fangbremskraft**
 - $F_{B,nom} = 198$ kN (früher 180 kN)
 - Wirkung auf Seilsattel talwärts

• Reibung (jeweils \pm)		Tragseil	Zugseil
Reibungskoeffizient	μ [-]	0.1	0.03
Lastbeiwert	γ [-]	2.5	1.5

Aktualisierung der Einwirkungen (2)

Baujahr 1971:
Gültige Einwirkungsnorm:
[SIA 160:1970]

- Wind auf Seile
 - heutige Einwirkungen höher und differenzierter
 - nach [SIA 269/1] gilt [SIA 261] auch für bestehende Bauten
 - Stützhöhe: 47 m
 - Ausgeschöpfte Aktualisierungen innerhalb [SIA 261:2003] :
 - Interpolation z über Feldlänge



Aktualisierung der Einwirkungen (3)

<i>Überprüfungswerte Projektverfasser</i>		Talstation	Stütze 2		Bergstation
Seilfeld		oben	unten (Feld 2)	oben (Feld 3)	unten
Mittlere Höhe Seilfeld, z	[m]	15.3	49.6	52.0	20.5
Gradientenhöhe z_g Geländekategorie III	[m]	450			
Bodenrauigkeit	[-]	0.23			
Profilbeiwert C_h	[-]	1.11	1.53	1.55	1.20
Referenzstaudruck q_{p0}	[kN/m ²]	1.10 (aus Windkarte [SIA 261:2014] Anhang E)			
Staudruck q_p $q_p = C_h q_{p0}$	[kN/m²]	1.23	1.68	1.70	1.32
Dichte der Luft ρ	[kg/m ³]	1.156	1.077	1.077	1.002
Windgeschwindigkeit v	[km/h]	166	201	202	185

$$C_h = 1,6 \left[\left(\frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_r} + 0,375 \right]^2$$

Aktualisierung der Einwirkungen (4)

- Wind auf Seile
(empfohlenes Vorgehen)
 - EN 12 930:2015 Ziffer 6.5.4 b)
 - SN EN 13107:2004 NA:
Festlegung lokaler Windkräfte:
 - die entsprechenden Bestimmungen der Norm SIA 261

[SIA D 0188]
Kommentar zum Kapitel 6 (Wind) der Normen SIA 261 und 261/1 (2003)

- Kap. 6.5 Druckbeiwerte und Kraftbeiwerte (SIA 261 Zif. 6.2)
- Reynolds-Zahl:
Verhältnis von Trägheitskräften und viskosen Kräften

Ausser Betrieb beträgt der Mindestwert des Staudrucks $q = 1,20 \text{ kN/m}^2$, sofern nicht aufgrund besonderer lokaler Anlageverhältnisse der Seilbahn oder nationaler seilbahnspezifischer Festlegungen oder Vorschriften andere Werte angenommen werden müssen.

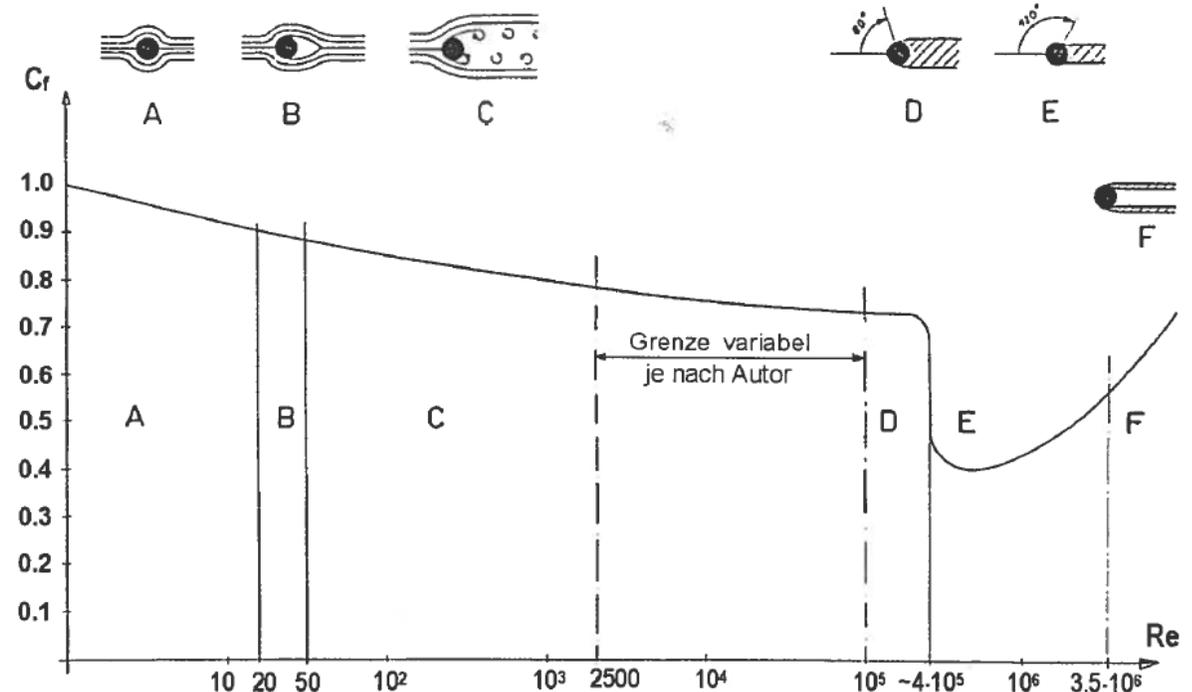
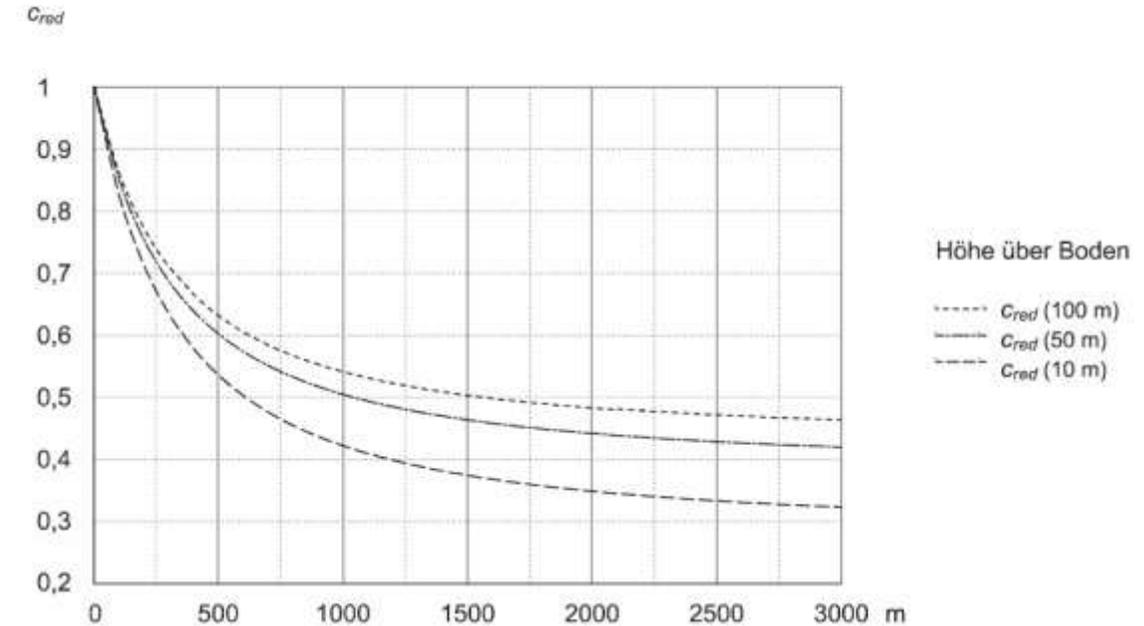


Bild 77 Strömung um Zylinder (Kraftbeiwert als Funktion der Reynolds-Zahl)

Aktualisierung der Einwirkungen (5)

- Wind auf Seile (empfohlenes Vorgehen)
 - SIA 261:2014 Tabelle 72
 - Globale Kraftbeiwerte c_f in Funktion des Seiltyps und der Reynolds-Zahl
 - Reynolds-Zahl neu auch abhängig von z und α_r

Gespannte Seile, Geländekategorie III, $\alpha_r = 0,23$



$d\sqrt{q_{p0}}\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha_r}$	Globale Kraftbeiwerte c_f				
	Bezugsfläche = $d \cdot l$ (d = Durchmesser, l = Länge, beide in m)				
$\leq 0,07$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
$> 0,07$	0,5	0,7	0,6	0,9	1,1
	 glatte Drähte und Stangen, Rohre	 mässig raue Drähte und Stangen	 geschlossene, glatte Leitungs- und Tragseile	 feindrätige Leitungs- und Tragseile	 grobdrätige Leitungs- und Tragseile

- Reduktionsbeiwert c_{red} in Funktion der Höhe über Boden und der Seillänge (Diagramm für Geländekategorie III)

Aktualisierung der Einwirkungen (6)

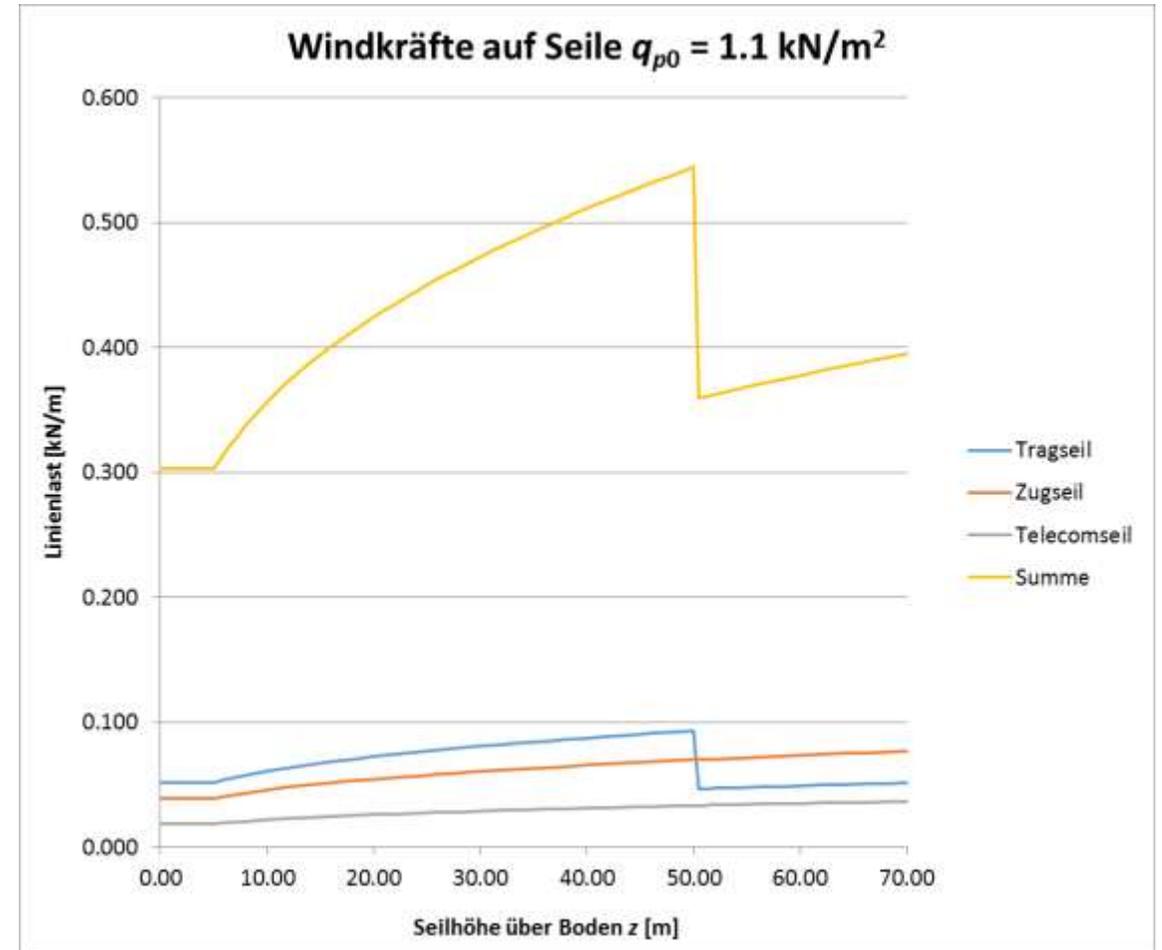
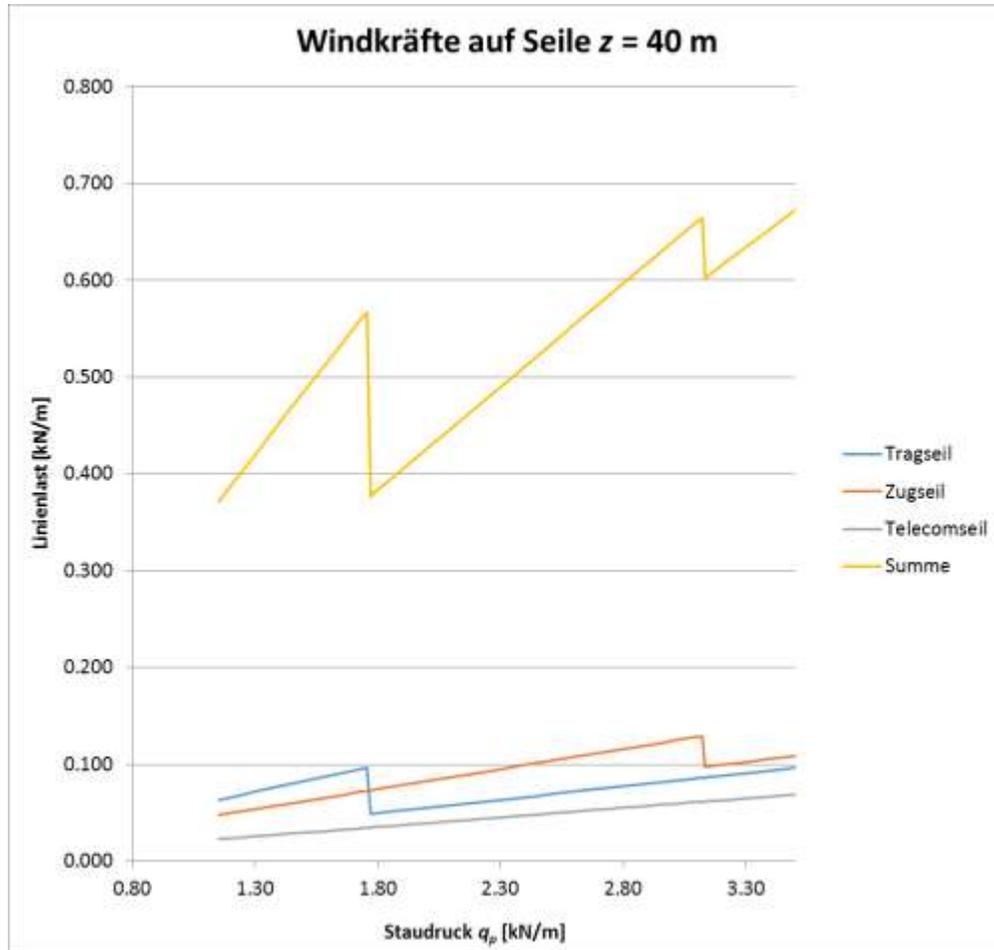
$$q_{l,k} [\text{kN/m}] = c_{red} c_d c_f q_p d$$

<i>Ergänzungen Referent</i>				Talstation	Stütze 2		Bergstation
Seilfeld				oben	unten (Feld 2)	oben (Feld 3)	unten
Seilfeldlänge (schräg)		[m]		128	994	862	172
Staudruck q_p		[kN/m ²]		1.23	1.68	1.70	1.32
Reynolds-Zahlen $d \sqrt{q_{p0}} \left(\frac{z}{10} \right)^{\alpha_r}$		Tragseil		0.0532	0.0697	0.0705	0.0635
		Zugseil		0.0399	0.0523	0.0529	0.0476
		Telecomseil		0.0190	0.0249	0.0251	0.0226
Kraft- bei- werte c_f	Kritischer Wert: 0.07	Tragseil	voll verschlossen	1.2	1.2	0.6	1.2
		Zugseil	Litzenseil	1.2	1.2	1.2	1.2
		Telecomseil	Litzenseil	1.2	1.2	1.2	1.2
Reduktionsbeiwert c_{red} (SIA 261:2014, Tabelle 72)				0.85	0.55	0.55	0.80§
Reduktionsbeiwert β aus EN 12 930 als Vergleich				0.93	0.61	0.61	0.90

Aktualisierung der Einwirkungen (7)

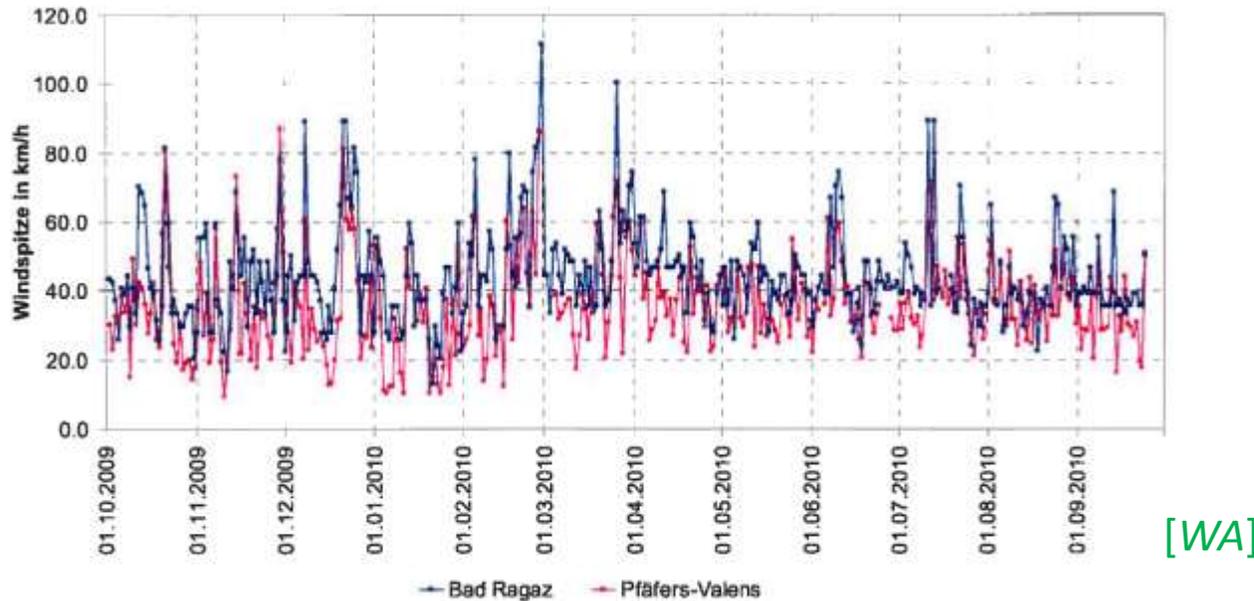
$$q_{l,k} [\text{kN/m}] = c_{red} c_d c_f q_p d$$

- Darf turbulentes Verhalten berücksichtigt werden?

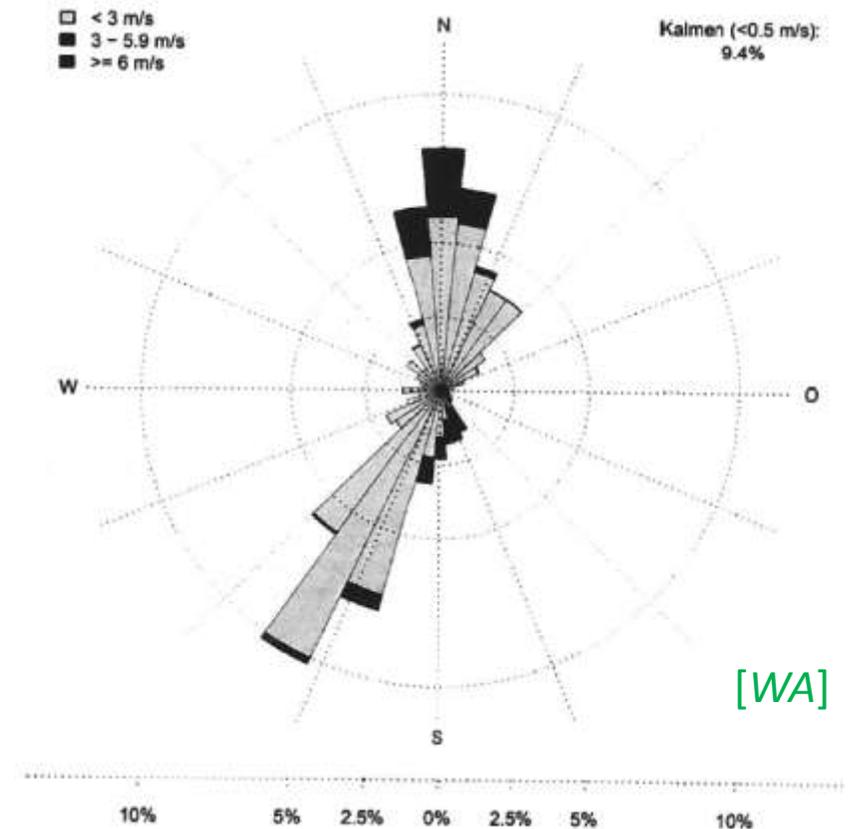


Aktualisierung der Einwirkungen (8)

- Wind auf Seile (weitergehende Aktualisierungen)
 - Lokale Windmessungen am Standort
 - Windstärke und -richtung
 - Zuverlässigkeit Messinstrumente
 - Datenaufzeichnung auch bei Sturm
 - Korrelation mit Messstationen mit langen Zeitreihen



- Beispiel
 - Taminabrücke Pfäfers
 - Korrelation mit MeteoSchweiz Messstation Bad Ragaz



Aktualisierung der Baustoff- und Baugrundeigenschaften (1)

- Identifikation der Baustoffe bzw. Baugrundklassen



Normen SIA 269/2 bis 269/6-1



- Neubestimmung der Eigenschaften im Rahmen der Zustandserfassung

Aktualisierung der Baustoff- und Baugrundeigenschaften (2)

- Identifikation mit Bauwerksakten
 - Baujahr 1971
 - Damals gültige Normen
 - Betonbau: SIA 162:1968 (Fundament Stütze 2)
 - Stahlbau: SIA 161:1956 (Stütze 2)
 - Verwendete Baustoffe:
 - Betonsorte: BH 300 kg PC/m³
 - Betonstahl: Torstahl 50 (IIIb)
 - Zugstangen: unbekannt; Annahme auf der sicheren Seite: St 37
 - Baustahl: St 37
 - Schrauben: SBS 4.6
- Baustoffeigenschaften gemäss damaligen Anforderungen
 - Beton [SIA 269/2]
 - Charakteristischer Wert (5% Fraktile) Druckfestigkeit $f_{ck} = 19.2 \text{ N/mm}^2$
 - Überprüfungswerte nach Anhang A Tabelle 7 $f_{cd} = 12.8 \text{ N/mm}^2$; $\tau_{cd} = 0.88 \text{ N/mm}^2$
 - Betonstahl [SIA 269/2]
 - Charakteristischer Wert (5% Fraktile) Fließgrenze $f_{sk} = 450 \text{ N/mm}^2$
 - Überprüfungswert nach Anhang A Tabelle 8 $f_{sd} = 390 \text{ N/mm}^2$
 - Baustahl [SIA 269/3]
 - Neuer Baustahl gemäss Tabelle 1
 - Mechanische Eigenschaften gemäss [SIA 263]
 - Schrauben [SIA 269/3]
 - Zuweisung zu Festigkeitsklasse 4.6 gemäss Ziffer 3.3.2.2

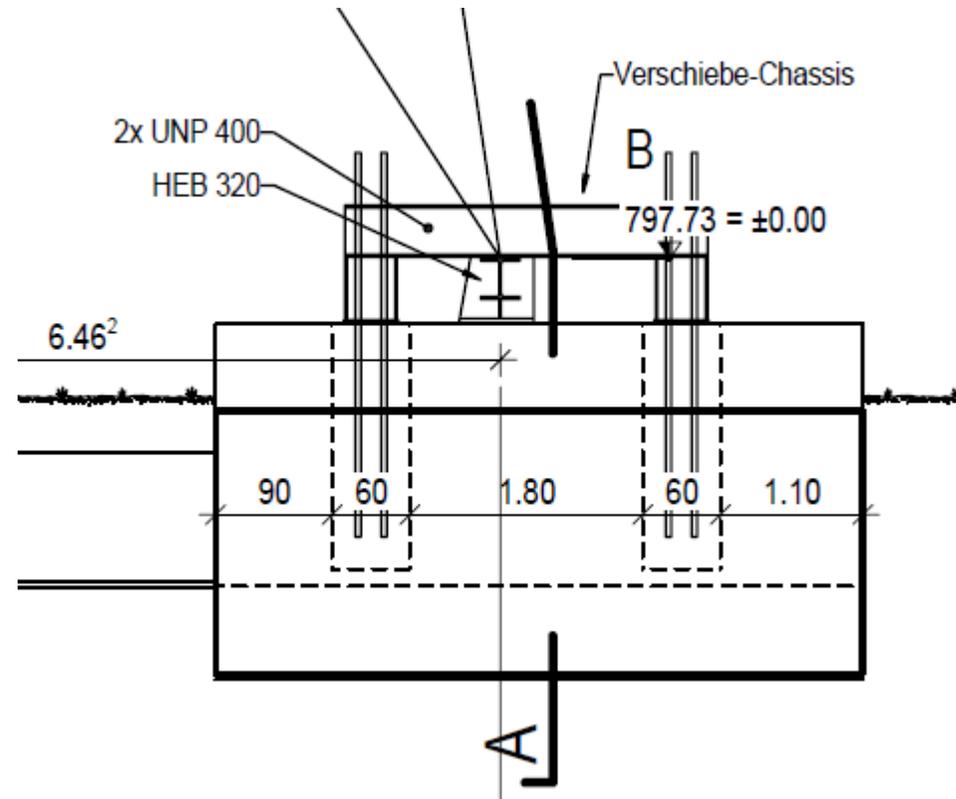
Aktualisierung der Baustoff- und Baugrundeigenschaften (3)

- Aktualisierung der Betondruckfestigkeit mit [SIA 269/2]
 - Indirekte Prüfung am Bauwerk
 - Mittelwerte aus Prüfung mit Rückprallhammer
 - 32, 33, 40 N/mm²
 - Rechnerische Abschätzung der Zunahme der Druckfestigkeit
 - $f_{cd,28} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
(BH bewehrt $\geq 300 \text{ kg Zement/m}^3$)
 - $f_{cm,28} = f_{ck} + 8.0 = 27.2 \text{ N/mm}^2$
 - Betonalter 43 Jahre ($\approx 15'700$ Tage)
 - Formel (262.2) ergibt Vergrößerungsfaktor 2.13
 - $f_{cm}(43 \text{ a}) = 57.9 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{ck}(43 \text{ a}) = f_{cm}(43 \text{ a}) - 8.0 = 49.9 \text{ N/mm}^2$
 - $\eta_{cd} = 0.844$; $\eta_t = 1.0$; $\gamma_c = 1.5$
 - $f_{cd,act} = 28.1 \text{ N/mm}^2$
 - $\tau_{cd,act} = 1.41 \text{ N/mm}^2$

	Norm	Formel
$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$	SIA 262	(6)
$f_{cm}(t) = f_{cm,28} \cdot 0,41 \cdot [(\log t) + 1]$	SIA 269/2	(1)
$f_{cd} = \frac{\eta_{fc} \eta_t f_{ck}}{\gamma_c}$	SIA 262	(2)
$\eta_{cd} = \left(\frac{30}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 1,0$	SIA 262	(26)
$\tau_{cd} = \frac{0,3 \eta_t \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$	SIA 262	(3)

Aktualisierung der geometrischen Grössen

- Baugrund
 - Kriechbewegungen erwartet
 - Bauwerksunabhängige Setzungen und Verschiebungen geodätisch ermittelt
 - Verschiebung Stütze 2 1971-2013: 1.31 m
- Betonüberdeckung
 - Rückrechnung anhand Bewehrungslisten



Aktualisierung der Tragwerksmodelle und des Verformungsvermögens

- Fachwerkstütze
 - Ausgeschöpfte Aktualisierungen
 - Berechnung mit Stabstatik-Programm
 - (Teilweise) reduzierte Knicklängen bei Fachwerkstäben nach [SIA 263:2013] Tabelle 13
 - Querschnittsklasse 2
 - Schnittgrössenermittlung elastisch
 - Ermittlung Querschnittswiderstand plastisch
 - Knickspannungskurven [SIA 263:2013] Figur 7
 - 3% der Kraft der gestützten Stäbe für Sekundärfachwerke
 - Weitergehende Aktualisierungen
 - Berücksichtigung der Knotensteifigkeiten
 - Nebenspannungen
 - Kleinere Knicklängen
 - Berechnung 2. Ordnung
 - Einführung von Ersatzimperfectionen

Bemessungssituationen

Gefährdungsbild	Zustand/Dauer	Leiteinwirkung	Begleiteinwirkung	Ständige Lasten
GB 1	in Betrieb vorübergehend	Dyname Seilbahn	Schnee / Nutzlast, Wind / Eis, Temperatur	Eigenlasten, ständige Auflasten, Erddruck, Auflager- verschiebung
GB 2	ausser Betrieb vorübergehend	Wind / Eis		
GB 3	ausser Betrieb vorübergehend	Schnee / Nutzlast		
GB 4	ausser Betrieb vorübergehend	Montage / Wartung Seilabhebevorgang (einseitige Belastung)	Wind (reduziert), Dyname Seilbahn, Temperatur	
GB 5	ausser Betrieb aussergewöhnlich	Erdbeben	Schnee / Nutzlast, Wind / Eis, Temperatur	
GB 6	in Betrieb aussergewöhnlich	Fangbremse (Anprall an Tragseilhalter)		
GB 7	in/ausser Betrieb aussergewöhnlich	Seilentgleisung		

Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (1)

- Grenzzustand Typ1
 - Gesamtstabilität eines Tragwerks
 - Kippen / Abheben Fundamente
- Grenzzustand Typ 2
 - Erreichen des Tragwiderstands des Tragwerks oder eines seiner Teile
 - Versagen Fachwerkstäbe auf Zug / Druck mit Biegung
 - Versagen Verbindungen
 - Versagen Verschiebechassis / Ankerstäbe
 - Übernahme Kraft Ankerstäbe
 - Beton-/Stahlbruch Verbindungsriegel
 - Grundbruch und Gleiten der Fundamente
- Grenzzustand Typ 3
 - Erreichen des Tragwiderstands des Baugrunds
 - Geländebruch
 - Böschungsbruch
- Grenzzustand Typ 4
 - Erreichen der Ermüdungsfestigkeit des Tragwerks oder eines seiner Teile
 - nicht untersucht

Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (2)

- Last-, Reduktions- und Kombinationsbeiwerte Grenzzustand Typ 1

Gefährdungsbild (GB)/ Leiteinwirkung	1 Seilauflasten		2 Wind		3 Fangbremse	Quelle
Betriebszustand	in Betrieb		ausser Betrieb		in Betrieb	[SIA 260]
Ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \Psi_2$	[SIA 269]
• Eigenlasten Tragwerk	0.90	1.10	0.90	1.10	1.00	[EN 13107]
• Auflast Telecomseil	0.95	1.05	0.95	1.05		Ingenieur- büro
Veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$				
• Seilauflasten im Betrieb (Seile+Fahrzeuge)	0.90	1.50			1.00	
• Seilauflasten ausser Betrieb (Seile) <i>eigentlich ständige Einwirkungen</i>	-	-	0.90	1.10		*) $\frac{0.95}{1.5} \cdot 2.5$
			0.95	1.05		
• Reibung Tragseil / Zugseil	2.50		1.58*)	1.75**)	1.00	
• Wind im Betrieb (Stützen+Seile+Fahrzeuge) quer	$\gamma_Q \Psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40	***) $\frac{1.05}{1.5} \cdot 2.5$
• Wind ausser Betrieb (Stützen+Seile) quer	-	-	1.50			
Aussergewöhnliche Einwirkungen					γ_A	
• Fangbremsfall (an Tragseilklammer) in Betrieb					1.50	

Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (3)

- Last-, Reduktions- und Kombinationsbeiwerte Grenzzustand Typ 2

Gefährdungsbild / Leiteinwirkung	1 Seilauflasten		2 Wind		3 Fangbremse	Quelle
Betriebszustand	in Betrieb		ausser Betrieb		in Betrieb	[SIA 260]
Ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \Psi_2$	[SIA 269]
• Eigenlasten Tragwerk	1.00	1.35	1.00	1.35	1.00	[EN 13107]
• Auflast Telecomseil	0.90	1.20	0.90	1.20		Ingenieur- büro
Veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$				
• Seilauflasten im Betrieb (Seile+Fahrzeuge)	0.90	1.50			1.00	
• Seilauflasten ausser Betrieb (Seile) <i>eigentlich ständige Einwirkungen</i>	-	-	1.00	1.35		*) $\frac{0.9}{1.5} \cdot 2.5$
			0.90	1.20		
• Reibung Tragseil / Zugseil	2.50		1.50*)	2.00**)	1.00	**) $\frac{1.2}{1.5} \cdot 2.5$
• Wind im Betrieb (Stützen+Seile+Fahrzeuge) quer	$\gamma_Q \Psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40	
• Wind ausser Betrieb (Stützen+Seile) quer	-	-	1.50			
Aussergewöhnliche Einwirkungen					γ_A	
• Fangbremsfall (an Tragseilklammer) in Betrieb					1.50	

Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (4)

- Last-, Reduktions- und Kombinationsbeiwerte Grenzzustand Typ 3

Gefährdungsbild / Leiteinwirkung	1 Seilauflasten		2 Wind		3 Fangbremse
Betriebszustand	in Betrieb		ausser Betrieb		in Betrieb
Ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \psi_2$
• Eigenlasten Tragwerk	1.00		1.00		1.00
• Auflast Telecomseil	1.00		1.00		
Veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$			
• Seilauflasten im Betrieb (Seile+Fahrzeuge)	1.50				1.00
• Seilauflasten ausser Betrieb (Seile) <i>eigentlich ständige Einwirkungen</i>	-	-	1.00		
			1.00		
• Reibung Tragseil / Zugseil	2.50		1.67*)		1.00
• Wind im Betrieb (Stützen+Seile+Fahrzeuge) quer	$\gamma_Q \psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40
• Wind ausser Betrieb (Stützen+Seile) quer	-	-	1.50		
Aussergewöhnliche Einwirkungen					γ_A
• Fangbremsfall (an Tragseilklammer) in Betrieb					1.50

Quelle
[SIA 260]
[SIA 269]
[EN 13107]
Ingenieur- büro

*) $\frac{1.0}{1.5} \cdot 2.5$

Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (5)

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}}$$

- Stütze 2, Grenzzustand Typ 2, Erfüllungsgrade n (Auszug)

Bau- teil	Profil	Kote [m]	GB	M, N, V	E_d [kNm, kN]	Widerstand R_d [kNm, kN]			Erfüllungsgrad n		
						Stabilität	Anschluss	Festigkeit	Stabilität	Anschluss	Festigkeit
Fussverankerung	Sockel		2	N	-1'773			3'000			1.69
	HEB 320			M							0.83
	2xUNP 400			M							1.20
	Ankerstäbe		1-3	$N(P)$	-448			502			1.12
	Verankerung im Beton		1-3	$N(P)$	-448			530			1.18
	Stirnplattenstoss		2	N	-1'257		separat	1'020			0.75
Eckstiele	LNP 200x20	0 bis +2.5	2	N	-1'773	1'240		1'709	0.70		0.96
		+2.5 bis +5.0 +5.0 bis +7.5 +7.5 bis +10.0	2	N	-1'773	1'313		1'709	0.74		0.96
		+10.0 bis +12.0 +12.00 bis 14.0	2	N	-1'763	1'439		1'709	0.82		0.97
		+14.0 bis 16.0	2	N	-1'636	1'439	1'740	1'709	0.88	1.06	1.04

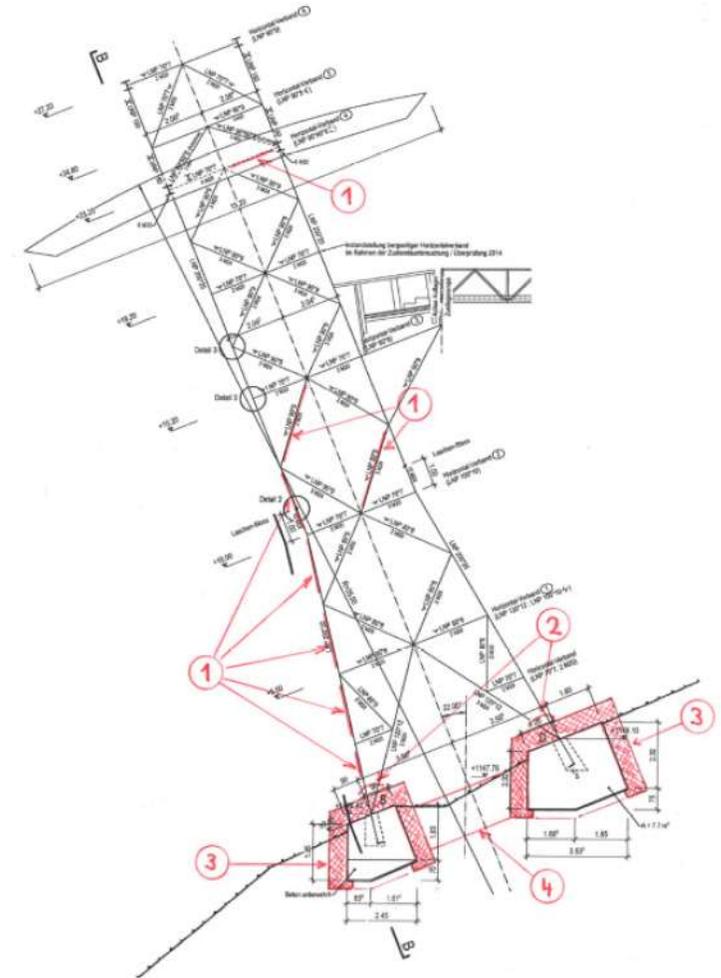
Deterministischer Nachweis der Tragsicherheit (6)

- Foundation Stütze 2 (Fundamente mit Riegel), Erfüllungsgrade n und Bodenpressungen

Versagen	Grenz-zustand	Seilauflasten in Betrieb	Wind ausser Betrieb	Fangbremse in Betrieb	Bemerkungen
Abheben	Typ 1	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Kippen	Typ 1	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Gleiten	Typ 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	Erfüllungsgrad n $n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}}$
Grundbruch	Typ 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Verankerung Eckstiel	Typ 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Querschnittswiderstand Riegel	Typ 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$ $n = 0.6^*)$	$n > 1.0$	
Max. Bodenpressung Ecke	charakt. Werte	60 kN/m ²	130 kN/m ²	-	

Verstärkungsmassnahmen

- 4 Fachwerkstützen
 - Aufdopplung Stahlquerschnitte
 - Ersatz Diagonalen oder Sekundärstäbe durch stärkere Profile
 - Ersatz Stahlbauschrauben durch vorgespannte HV-Schrauben
- Verbindung Stütze-Fundament
 - Kraftschlüssige Verbindung durch Aufdopplungen und Ankerplatten
 - Kontrolle Zustand Ankerstäbe
- Verstärkung Fundationen
 - Ummantelung mit neuem Beton
 - ... (Stützen 1, 3 und 4)
 - Erhöhung Querschnittswiderstand
 - Riegel Stütze 2



Legende:

- ① Verstärkung Stahlstütze mittels Aufdoppeln oder Ersatz von Stahlprofilen
- ② Neue Verbindung Stütze – Fundament
- ③ Verstärkung Fundation durch zusätzliche Ummantelung mit Beton
- ④ Verstärkung Fundation mit Verbindungsriegeln

Probabilistischer Nachweis der Tragsicherheit (1)

Grundlagen

Widerstand R, r

Auswirkung E, e

Grenzzustandsfunktion G, g

$$g = r - e$$

$$\mu_G = \mu_R - \mu_E$$

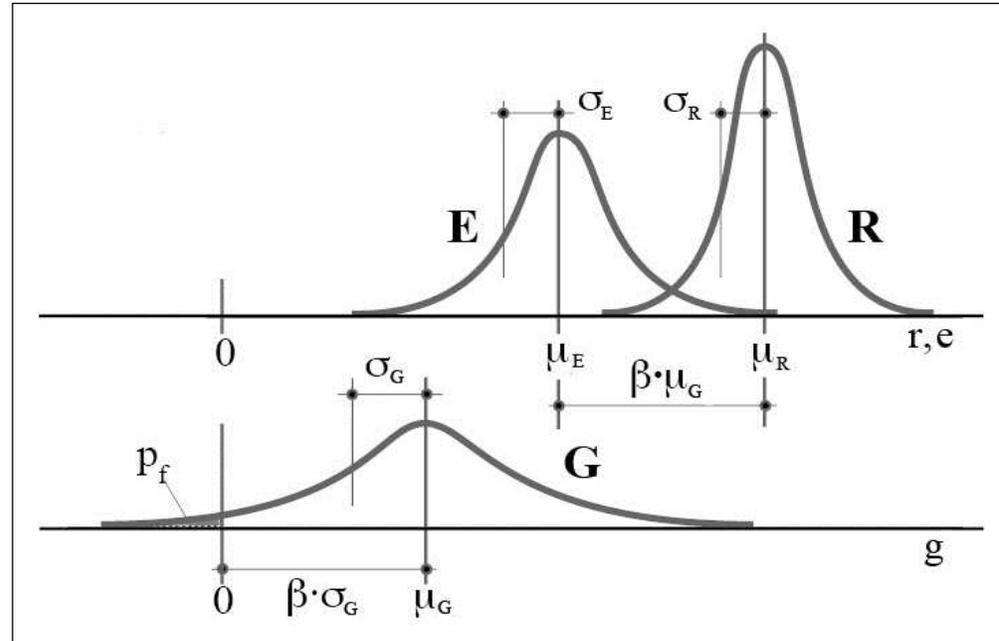
$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}$$

Zuverlässigkeitsindex β

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

Versagenswahrscheinlichkeit p_f

$$P_f = \Phi(-\beta)$$



Sensitivitätsfaktoren α

$$\alpha_E = \frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

Zuverlässigkeitsindex β	0.0	1.3	2.3	3.1	3.8	4.3	4.8	5.2	5.6
Versagenswahrscheinlichkeit P_f	0.5	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}

Wenn variable Einwirkungen beteiligt:

Versagenswahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit \rightarrow Versagensrate

Probabilistischer Nachweis der Tragsicherheit (2)

- ρ Verhältnis von direkten Kosten bei Versagen und Wiederherstellungskosten nach Versagen
- EF_M Massnahmeneffizienz; Verhältnis von Risikoreduktion und Sicherheitskosten

Erforderliches Sicherheitsniveau

- Vergleich von Versagensraten r
 - Versagensrate kleiner als Zielwert abhängig von den Konsequenzen eines Tragwerkversagens und der Massnahmeneffizienz EF_M

$$r \leq r_0(\rho, EF_M)$$
 - Versagensrate zusätzlich beschränkt durch akzeptierbares Individualrisiko von 10^{-5} /Jahr

Zielwert Zuverlässigkeitsindex β Versagensrate r	Konsequenzen eines Tragwerkversagens ρ		
EF_M	gering $\rho < 2$	moderat $2 < \rho < 5$	hoch $5 < \rho < 10$
klein: $EF_M < 0.5$	3.1 $10^{-3}/a$	3.3 $5 \cdot 10^{-4}/a$	3.7 $10^{-4}/a$
mittel: $0.5 \leq EF_M \leq 2.0$	3.7 $10^{-4}/a$	4.2 $10^{-5}/a$	4.4 $5 \cdot 10^{-6}/a$
gross: $EF_M > 2.0$	4.2 $10^{-5}/a$	4.4 $5 \cdot 10^{-6}/a$	4.7 $10^{-6}/a$

Probabilistischer Nachweis der Tragsicherheit (3)

Praktische Schwierigkeiten

- Grundlagen der Normwerte oft nicht bekannt.
- Verteilungen der Zustandsvariablen (Einwirkungen, Baustoffkennwerte) nicht bekannt.
- Güte der Tragwerks- und Widerstandsmodelle nicht bekannt, Modellbeiwerte schwierig zu schätzen.

Ausweg

- Semi-probabilistisches Verfahren
- Möglichkeiten:
 - Berücksichtigung von projektspezifisch bestimmbaren Wahrscheinlichkeitsverteilungen
 - Rückwärtige Bestimmung von Variationskoeffizienten, ...



Sicherheitsniveau

[SIA 269] Anhang B

- Konsequenzen eines Tragwerksversagens
 - Quotient ρ der direkten Kosten C_F bei Versagen und der Wiederherstellungskosten C_W $\rho = \frac{C_F}{C_W}$
- Versagen Eckstiel ($n = 0.70$)
 - Einsturz Stütze
 - Einsturz Bahn
 - Personenschäden je nach Betriebszustand

Einstufung	Koeffizient	Konsequenzen
Bahn in Betrieb	$5 < \rho < 10$	gross
Bahn ausser Betrieb	$2 < \rho < 5$	moderat

- Massnahmeneffizienz

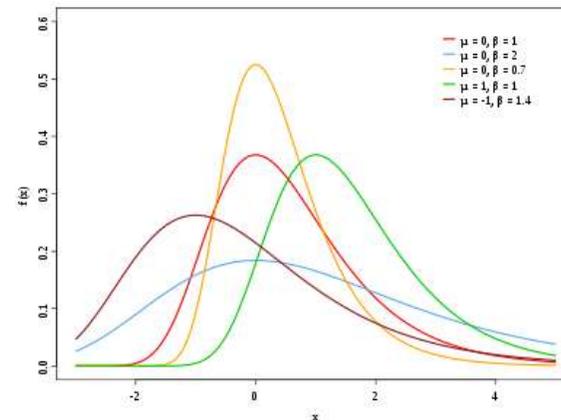
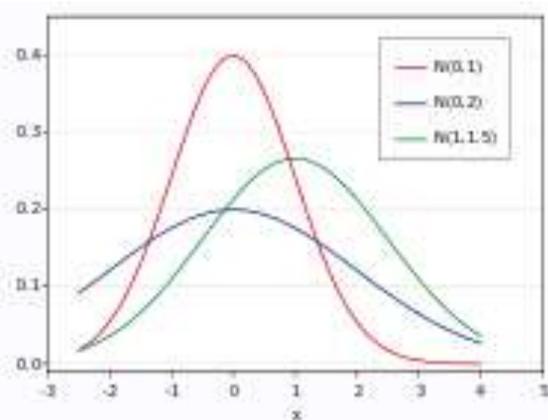
- Phase der Überprüfung:
 $EF_M = 1$ [SIA 269, Ziffer B.3]
- Zielwert des Zuverlässigkeitsindex β_0 mit Referenzperiode 1 Jahr:
 - Bahn in Betrieb: $\beta_0 = 4.4$
entspricht Versagenswahrscheinlichkeit $5 \cdot 10^{-6}/a$
 - Bahn ausser Betrieb: $\beta_0 = 4.2$
entspricht Versagenswahrscheinlichkeit $10^{-5}/a$

Semi-probabilistisches Verfahren (1)

[SIA 269] Anhang C

Annahmen für Wahrscheinlichkeitsverteilungen

- Ständige Auswirkungen: normalverteilt
- Veränderliche und aussergewöhnliche Einwirkungen: gumbelverteilt
- Tragwiderstände: normal- oder lognormalverteilt
- Steifigkeiten: normalverteilt



Weitere Annahmen

- Bemessung nach gültigen Normen ergibt gerade Zielwert von β
- Vereinfachte Sensitivitätsfaktoren α_E und α_R

	α_E	α_R
Auswirkungen von Leiteinwirkungen	0.7	
Auswirkungen von Begleiteinwirkungen	0.3	
Tragwiderstände von massgebender Bedeutung		-0.8
Tragwiderstände von untergeordneter Bedeutung		-0.3

Semi-probabilistisches Verfahren (2)

[SIA 269] Anhang C

Überprüfungswerte mit

- Normalverteilung:

$$E_{d,act} = E_{m,act} \left(1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act} \right)$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} \left(1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act} \right)$$

Variationskoeffizienten

$$v_{E,act} = \frac{\sigma_{E,act}}{\mu_{E,act}} \quad v_{R,act} = \frac{\sigma_{R,act}}{\mu_{R,act}}$$

- Lognormalverteilung:

$$E_{d,act} = E_{m,act} e^{\left(\alpha_E \beta_0 \delta_E - 0.5 \delta_E^2 \right)}$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} e^{\left(\alpha_R \beta_0 \delta_R - 0.5 \delta_R^2 \right)}$$

Parameter der Lognormalverteilung

$$\delta_E^2 = \ln(v_{E,act}^2 + 1) \quad \delta_R^2 = \ln(v_{R,act}^2 + 1)$$

- Gumbelverteilung:

$$E_{d,act} = E_{m,act} \left[1 - v_{E,act} \left(0,45 + 0,78 \ln \left[-\ln \left(\Phi \left[\alpha_E \beta_0 \right] \right) \right] \right) \right]$$

Ausdrücke für
Teilsicherheitsfaktoren

$$\gamma_{F,act}$$

$$\gamma_{R,act}$$

Semi-probabilistisches Verfahren (3)

Anwendung 1

- Wie gross ist der Teilsicherheitsbeiwert für Seilreibung als Begleiteinwirkung für Grenzzustand Typ 3?

1. Seilreibung sei normalverteilt:

$$\gamma_Q = 1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act}$$

2. Seilreibung als Leiteinwirkung:

$$\gamma_Q = 2.50, \alpha_E = 0.7$$

3. Gefährdungsbild 1, Seilbahn in Betrieb:
Massnahmeneffizienz mittel, Konsequenzen hoch: $\beta_0 = 4.4$

$$v_{E,act} = \frac{\gamma_Q - 1}{\alpha_E \beta_0} = \frac{2.5 - 1}{0.7 \cdot 4.4} = 0.487$$

4. Seilreibung als Begleiteinwirkung:

$$\alpha_E = 0.3$$

5. Gefährdungsbild 2, Seilbahn ausser Betrieb:

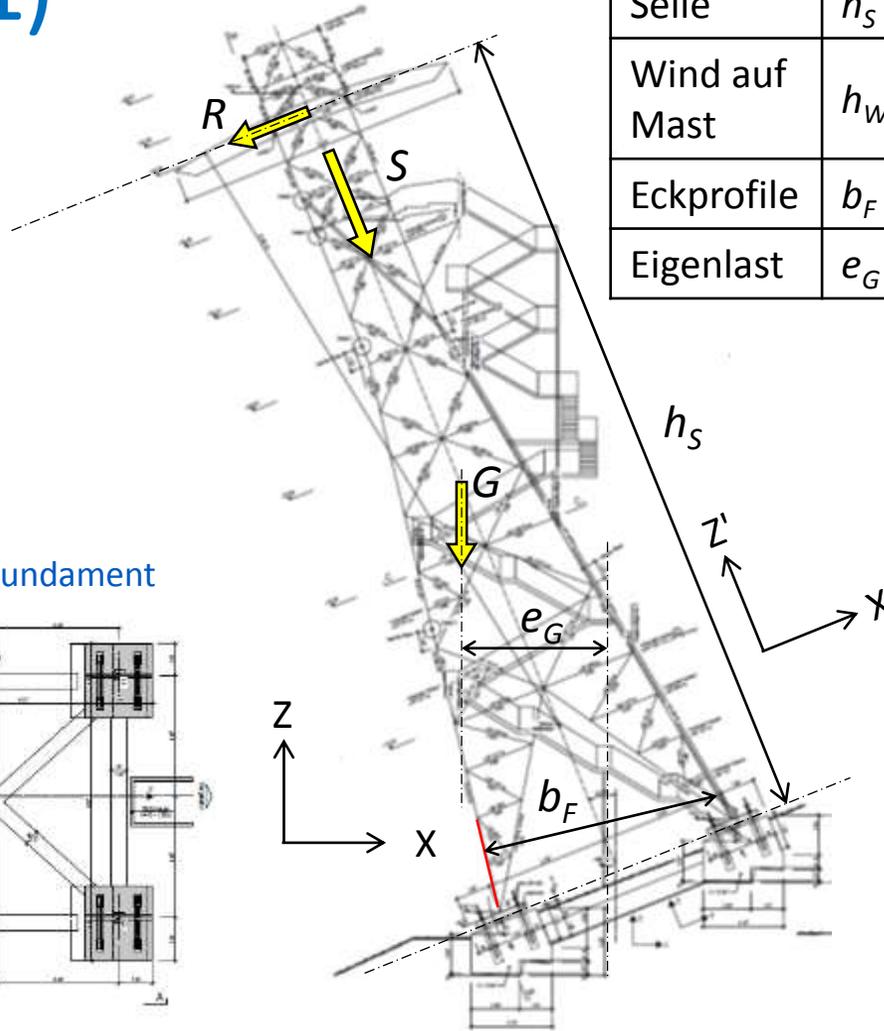
Massnahmeneffizienz mittel,
Konsequenzen mittel: $\beta_0 = 4.2$

$$\gamma_{Q,act} = 1 + 0.3 \cdot 4.2 \cdot 0.487 = 1.61$$

Abschätzung Versagenswahrscheinlichkeit (1)

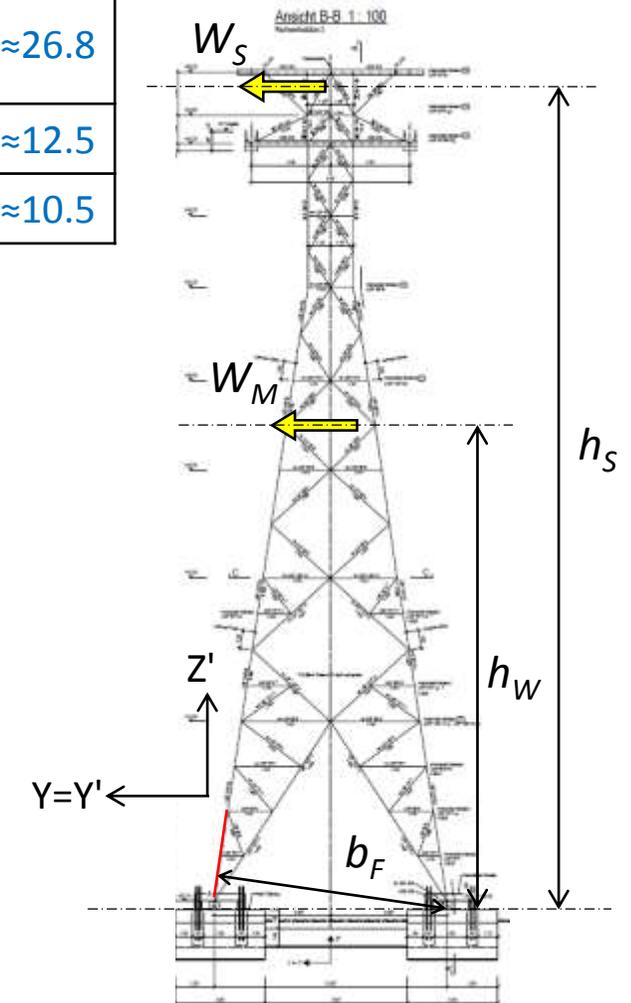
- Vereinfachung Belastung und statisches System
 - Eigenlast G
 - Resultierende Seilkräfte S
 - Reibung R
 - Windkräfte auf Seile W_S und auf Mast W_M

Ansicht parallel zum Hang

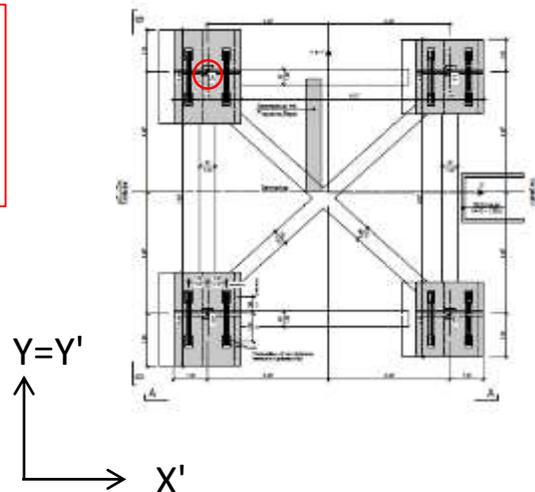


Hebelarme		[m]
Seile	h_S	≈ 43.0
Wind auf Mast	h_W	≈ 26.8
Eckprofile	b_F	≈ 12.5
Eigenlast	e_G	≈ 10.5

Ansicht abwärts + Achse



Aufsicht Fundament



$$N = -G \cos 22^\circ - S$$

$$M_x = -W_S \cdot h_S - W_M \cdot h_W$$

$$M_y = -G \cdot e_G - R \cdot h_s$$

$$N_{Ep} \approx \frac{N}{4} + \frac{M_x + M_y}{2b_F}$$

Abschätzung Versagenswahrscheinlichkeit (2)

$$N_{Ep} = -0.652 G - 0.25 S - 1.72 W_S - 1.07 W_M - 1.72 R$$

- Vereinfachung Belastung und statisches System
 - Eigenlast G
 - Resultierende Seilkräfte S
 - Reibung R
 - Windkraft auf Seile W

$$N = -G \cos 22^\circ - S$$

$$M_x = -W_S \cdot h_S - W_M \cdot h_W$$

$$M_y = -G \cdot e_G - R \cdot h_S$$

$$N_{Ep} \approx \frac{N}{4} + \frac{M_x + M_y}{2b_F}$$

$$n = \frac{N_{Rd,act}}{N_{d,act}}$$

$$N_{d,act} = G_{d,act} + \gamma_F \cdot Q_{act} = \frac{1}{n} N_{Rd,act}$$

$$N_{d,eff} = G_{d,act} + \gamma_{F,eff} \cdot Q_{act} = N_{Rd,act}$$

$$\gamma_{F,eff} = n \cdot \gamma_F + (n-1) \frac{G_{d,act}}{Q_{act}} = 0.77$$

Einwirkung	Symbol	Wert [kN]	Auswirkung			
			$N_{Ep}(E)$		Lastbeiwert	$N_{d,act}$ [kN]
			[kN]	[%]		
Eigenlast	G	740	-482	48	1.00	-482
Resultierende Seilkräfte	S	201	-50		1.00	-50
Reibung	R	18	-31		1.67	-52
Wind Seile	W_S	128	-220	52	1.50	-330
Wind Mast	W_M	363	-388		1.50	-583
Total			-1'172			-1'497
Werte Projektverfasser			$n = 0.7$			-1'773

Semi-probabilistisches Verfahren (4)

Anwendung 2

- Wie gross ist die Versagenswahrscheinlichkeit, wenn für das Gefährdungsbild 2 der Tragsicherheitsnachweis lediglich mit einem Lastbeiwert $\gamma_{F,eff} = 0.77$ für Wind erfüllt ist?

1. Der charakteristische Wert des Staudrucks q_p entspricht einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren:

$$p_w(\gamma_F = 1.00) = 0.02 \text{ a}^{-1}$$

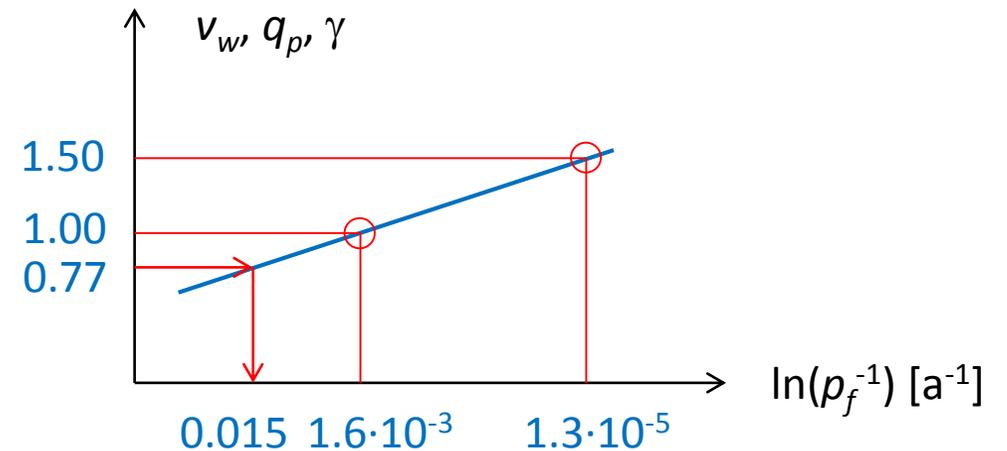
2. Zugehöriger gewichteter Zuverlässigkeitsindex:

$$\alpha_E \beta_0 = 2.06; \text{ mit } \alpha_E = 0.7 \rightarrow \beta_0 = 2.94$$

3. Versagenswahrscheinlichkeit:

$$p_f(\beta = 2.94) = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$$

4. Lastbeiwert $\gamma_F = 1.50$ entspricht einem Zuverlässigkeitsindex $\beta_0 = 4.2$, d.h. einer Versagenswahrscheinlichkeit:
 $p_f(\beta = 4.2) = 1.3 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1}$
5. Windgeschwindigkeit und Staudruck sind gumbelverteilt.



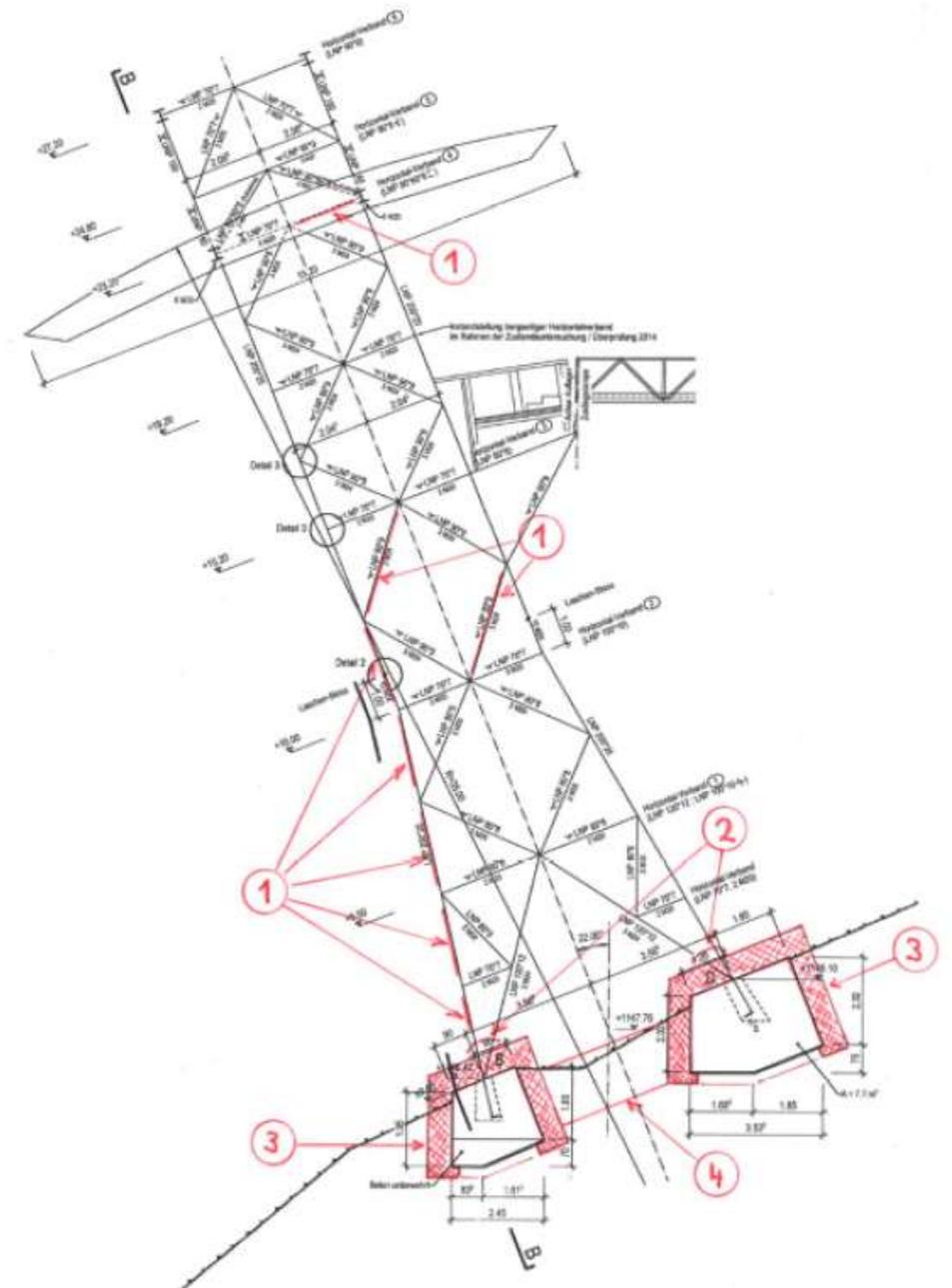
➤ $p_w(\gamma_F = 0.77) = 0.015 \text{ a}^{-1}$,
d.h. Wiederkehrperiode ca. 70 a.

Verhältnismässigkeit (1)

- Massnahmeneffizienz
 - Quotient von Risikoreduktion ΔR_M und Sicherheitskosten SC_M
- Massnahmen an allen 4 Fachwerkstützen
 - Sicherheitskosten \approx Kosten Stahlbau
 - Annahme:
15% der Neubaukosten = 306'000 CHF
 - Restnutzungsdauer: $n = 25$ Jahre
 - Zinssatz für Diskontierung: $i = 2\%$
 - Diskontierungsfaktor
 $DF = 0.0512$
 - Diskontierte Jahreskosten:
 $SC_M = 15'700$ CHF

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M}$$

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$



Verhältnismässigkeit (2)

- Schaden bei Totaleinsturz ausser Betrieb:
 - Abgang Anlagevermögen: 2.65 Mio CHF
 - Aufräumkosten: 0.50 Mio CHF
 - Personenschaden: 1 Toter zu $p = 30\%$;
Rettungskosten 5 Mio CHF/P. 1.50 Mio CHF
 - Betriebsausfall 1 Jahr: 1.78 Mio CHF
 - 10% Ertrag -0.56 Mio CHF
 - 50% Personenaufwand 1.09 Mio CHF
 - 60% Sachaufwand 1.04 Mio CHF
 - 100% Kapitalaufwand 0.21 Mio CHF
 - **TOTAL 6.43 Mio CHF**

- Risikoreduktion ΔR_M :

$$\Delta R_M = (p_{f,\text{vor } M} - p_{f,\text{nach } M}) \cdot \text{Schaden}$$

$$\Delta R_M \approx p_{f,\text{vor } M} \cdot \text{Schaden}$$

$$\Delta R_M \approx 0.015 [\text{a}^{-1}] \cdot 6.43 [\text{Mio CHF}] \\ = 95'100 [\text{CHF/a}]$$

- Massnahmeneffizienz EF_M :

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} = \frac{95'100}{15'700} = 6.1 > 1.0$$

- Die vorgesehenen Massnahmen sind verhältnismässig.

Schlussfolgerungen

1. Seilbahnen sind und enthalten Tragwerke, die als solche zu bemessen, zu überprüfen und zu erhalten sind.
2. Weder das europäische noch das schweizerische Normenwerk decken alle wichtigen Aspekte ab.
3. Die Kombination von nicht koordinierten Normbestimmungen erfordert ein vertieftes Verständnis der beteiligten Phänomene.
4. Die Zustandserfassung liefert die Grundlagen für nötige und mögliche Aktualisierungen.
5. Der Nachweis der Tragsicherheit von bestehenden Tragwerken von Seilbahnen geschieht in der Regel mit einem deterministischen Nachweis.
6. Das semi-probabilistische Verfahren erlaubt die Aktualisierung von Teilsicherheitsfaktoren und die Beurteilung der Verhältnismässigkeit.

Besten Dank für die Aufmerksamkeit



Referenzen (1)

Generelle Unterlagen

- [ASTRA 62014] ASTRA 62014. KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel – Datenerfassungshandbuch, IT-Dokumentation; ASTRA, 2012 V1.00.
- [BAV RL Korrel] BAV 2014. Seilbahnanlagen – Korrelation zwischen den nationalen SIA-Normen und den harmonisierten EN-Normen betreffend Wind ausser Betrieb; Richtlinie, BAV, V 1.1_d, 01.02.2015.
- [BAV Mb 4] BAV 2013. Seilbahnen, Instandhaltung und Umbau; Merkblatt 4, BAV, V 2.0_d 31.12.2013.
- [EN 1990] SN EN 1990:2002. Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Schweizer Norm, SIA, 2005.
- [EN 12930] Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen im Personenverkehr – Berechnungen; Deutsche Norm, DIN, Januar 2015.
- [EN 13107] SN EN 13107:2005-4. Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Bauwerke; Schweizer Norm, SNV, 2005.
- [SebG Anhang] BAV 2006. Bezeichnung von Technischen Normen; Bundesgesetz über Seilbahnen zur Personenbeförderung (Seilbahngesetz: SebG), Anhang, 19.12.2006.
- [SIA 160:1970] SNV 505 160. Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten; SIA, 1970.
- [SIA 260:2003] SN 505 260. Grundlagen der Projektierung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2003.
- [SIA 260:2013] SN 505 260. Grundlagen der Projektierung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2013.
- [SIA 261:2003] SN 505 261. Einwirkungen auf Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2003.
- [SIA 261:2014] SN 505 261. Einwirkungen auf Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2014.
- [SIA 263:2013] SN 505 263. Stahlbau; Schweizer Norm, SIA, 2013.

Referenzen (2)

Generelle Unterlagen (cont.)

- [SIA 269] SN 505 269. Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 269/2] 505 269/2. : Erhaltung von Tragwerken – Betonbau; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 269/3] SN 505 269/3: Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 469] SN 588 469. Erhaltung von Bauwerken; Schweizer Norm, SIA, 1997
- [SIA D 0188] Hertig J.-A., Zimmerli B. Wind – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke; Dokumentation SIA D 0188, Zürich, 2006.
- [VSS SN 640 904] SN 640 904:2003. Erhaltungsmanagement (EM) – Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswerte; Norm, VSS, 2003.

Referenzen (3)

Objektspezifische Unterlagen

- [BUe] *Ingenieurbüro.* Bericht zu den Umwelteinflüssen; *Bauherr, Objekt A*, 26.07.2014 V04.
- [ESaBSIA] *Lieferant.* Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" nach SIA 261:2003; *Objekt A*, 19.02.2014 V00.00.
- [ESaBWG00] *Lieferant.* Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" aus dem Windgutachten; *Objekt A*, 29.07.2014 V00.00.
- [ESaBWG00] *Lieferant.* Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" aus dem Windgutachten; *Objekt A*, 09.02.2015 V00.00.
- [EVIK] *Ingenieurbüro.* Erläuterungen zum vorgesehenen Instandsetzungskonzept best. Fachwerkstützen und Fundamente, *Objekt A*, 19.12.2014.
- [GAD] *Ingenieurbüro.* Strecke: Fachwerkstütze 2; Grundriss + Ansichten + Details 1:100/1:10; *Bauherr, Objekt A*, 28.11.2014.
- [GB] *Geotechniker.* Geotechnische Beurteilung der Stabilität der Masten 2 und 3; *Objekt A*, 27.02.2014.
- [GB 2013/14] *Bauherr.* 15. Geschäftsbericht 2013/14.
- [PB] *Ingenieurbüro.* Projektbasis; *Bauherr, Objekt A*, 28.11.2014 V03.
- [NV] *Ingenieurbüro.* Nutzungsvereinbarung; *Bauherr, Objekt A*, 26.07.2014 V05.
- [ÜB] *Ingenieurbüro.* Überprüfungsbericht best. Fachwerkstützen und Fundamente; *Bauherr, Objekt A*, 28.11.2014 V01.
- [ÜK] *Ingenieurbüro.* Überprüfungskonzept für best. Fachwerkstützen und Fundamente; *Bauherr, Objekt A*, 28.11.2014 V01.
- [WA] Bader S. Windanalyse Messstation Pfäfers –Valens (SG) 2009-2010; MeteoSchweiz, 04.11.2010.
- [WG] Hertig, J.-A.; Zimmerli, B. Windgutachten; *Objekt B*, 07.03.2013, corr. 01.04.2014.
- [ZB] *Ingenieurbüro.* Zustandsbericht – Feste Anlagen; Stationen, Streckenfundamente, Fachwerkstützen; *Bauherr, Objekt A*, 28.11.2014 V03.