



Begutachtung von flexiblen Sicherungsbauwerken: Systematische Herangehensweise für die Bewertung der Bauteile und Baugruppen nach der „Life Cycle Methode“

Dipl. Geol. Eberhard Gröner, GeobruGG AG, Romanshorn (Schweiz)

Alexander Bittendorfer, GeobruGG AG, Romanshorn, (Schweiz)

Mag. Hannes Salzmann, Free Fall Geotechnical Engineering ZT GmbH, Dornbirn, (Österreich)

In den letzten 50 Jahren haben sich flexible Sicherungsbauwerke, bestehend aus z.B. Stahlstützen, Litzendrahtseilen, Netzen und Bremsselementen als effektiver und wirtschaftlicher Schutz vor Steinschlag, Murgängen, Lawinen im Anrißgebiet und flexible Netzabdeckungen zum Schutz vor Steinschlag und Böschungsinstabilität etabliert. Ihre Zuverlässigkeit hat sich durch standardisierte Prüfverfahren und verbesserte Baumethoden deutlich erhöht (BAFU 2001/2006).

Im deutschsprachigen Raum kann bei den genannten Sicherungsbauwerken von einer Länge von deutlich mehr als 3.000 km, und bei den Netzabdeckungen von mehreren Millionen Quadratmetern ausgegangen werden. Auch wenn die Bauwerke oft schon älter sind, erfüllen sie eine Schutzfunktion und sind, bewusst oder unbewusst, Bestandteil der Gefahrenabwehr.

Die flexiblen Sicherungsbauwerke werden vielfach in einem Bauwerkskataster geführt und im Rahmen eines Erhaltungskonzepts regelmäßig begutachtet (Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden 2018). Bei den Begutachtungen hat sich gezeigt, dass die rein optische Beurteilung der Bauteile auf ihre Funktionstauglichkeit nicht immer einfach ist, (Margreth 2003). Die Themen Gebrauchstauglichkeit und Restnutzungsdauer der Bauteile und Sicherungsbauwerke rückt immer mehr in den Vordergrund.

Auf Grundlage der Definition des Schutzzieles haben wir die Einteilung in Linien- und Flächenpriorität entwickelt. Dadurch kann die Beurteilung der Bauteile und eine Priorisierung in Baugruppen gemacht werden. So kann eine bessere Aussage, ob einzelne Bauteile oder ganze Baugruppen ausgetauscht werden müssen, gemacht werden. Betroffene Bauteile können gezielt auf ihre Tragfähigkeit und ihren Schutz vor Korrosion im Labor überprüft. So können Aussagen über die zu erwartende Restnutzungsdauer getroffen werden.

In unserem Vortrag zeigen wir wie mit diesen Methoden eine Aussage zur Funktionstauglichkeit und Restnutzungsdauer im Rahmen des «Life Cycle Management» getroffen werden kann.

1 Einleitung

Als Systementwickler und Hersteller von flexiblen Sicherungsbauwerken gibt es seit der Einführung der ersten getesteten Steinschlagschutzsysteme in den 1980er Jahren immer wieder Anfragen für eine genauere Begutachtung der von uns hergestellten und gelieferten Systeme. Aufgrund der zuerst geringen Energieaufnahme Kapazität von maximal 300 kJ hat sich das anfangs auf Schäden durch die Unterdimensionierung der Systeme bezüglich der effektiven Einwirkung bezogen, sowie Normbauteile wie Schäkel und Drahtseilklemmen mit einem geringeren Schutz vor Korrosion. Über die Jahre wurden die Systeme weiter entwickelt bis zu einer Energieaufnahme Fähigkeit von 10'000 kJ.

Mittlerweile kommen die älteren Systeme aufgrund des Verbrauchs des Korrosionsschutzes näher an das Ende ihrer Lebens- / Nutzungsdauer. Je nach

Korrosivität der Umgebung und Art des Korrosionsschutzes können lokal früher oder später optische Auffälligkeiten durch Rotrost auftreten.

Unsere Betrachtung in dieser Publikation bezieht sich auf die Abschätzung und Ermittlung der zu erwartenden Restnutzungsdauer von verschiedenen Installationen unter verschiedenen Korrosivitätsbedingungen. Es wird ein Projekt mit Übernetzungen anonymisiert vorgestellt. Die Sicherungsmaßnahme wurde vor 21 Jahren installiert.

Für die Eigentümer von Sicherungsbauwerken kann es relevant sein, wie lange ein Sicherungsbauwerk seine Funktion erfüllen kann und wann einzelne Bauteile oder Baugruppen ausgetauscht werden müssen. Entsprechend können Gelder in den Haushalt eingestellt werden.

Unser Versuch diese Informationen in einer Lebenszyklusbetrachtung darzustellen, soll eine Diskussion für eine systematischen Betrachtung des Lebenszyklus anregen.

2 Bauwerksinspektion mit den Erfahrungen des Systemherstellers

Der Nutzen der flexiblen Sicherungssysteme ist, dass z.B. der Steinschlag über die Verformung von Bremsen und durch die Systemauslenkung gestoppt wird. So können große Energien aufgenommen werden. Je nach Energieeintrag in die Systeme müssen mehr oder weniger Bauteile ausgetauscht werden, oder es entstehen sogar Schäden durch unplanmäßige Belastungen und Überlastung (Tabelle 1).

Im Rahmen unserer Unterstützung und zur Wiederertüchtigung der Systeme waren und sind wir dann vor Ort. Zum einen hat das geholfen die Systeme weiterzuentwickeln und zu verbessern. Zum anderen konnte vor allem bei Überlastfällen festgestellt werden, dass die verschiedenen Bauteile, je nach Trefferort, eine unterschiedliche Relevanz für das Versagen von Baugruppen, oder gar des Gesamtsystems haben. So hat sich die Erfahrung entwickelt die Bauteile aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten, die wir meinen aus Herstellersicht möglich ist. Diese Sichtweise lehren wir seit 2020 in unseren Schulungen im Rahmen des „CONSIS – Betrieb, Inspektion und Unterhalt von flexiblen Sicherungsbauwerken“ und besprechen diese mit Expert:innen. Die Rückmeldung war, dass diese Herangehensweise zur Beurteilung von flexiblen Sicherungsbauwerken eine große Relevanz hat.

Hauptgruppen:
Bemessungsereignisse / planmäßige Lasten
Erscheinungen durch Korrosion
Außerplanmäßige Lasten durch Überlast, Murgang, Baumschlag, Schneelasten und außerhalb der Zulassung
Untergruppen:
Falsche Montage und Vandalismus
Vegetation
Instabiler Baugrund im Verbauungsgebiet wie Hangbewegungen und (Gross-) Rutschungen

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bereiche, die bei einer Begutachtung Anwendung finden. Es wird in drei Haupt- und drei Untergruppen unterschieden.

2.1 Schutzziel und Relevanz der Bauteile

Das Schutzziel wird üblicherweise allgemein und übergeordnet vom Bauherrn für eine Region / einen Zuständigkeitsbereich, oder projektspezifisch, definiert und hängt von vielen Faktoren ab. In diese Diskussionen und Festlegungen sind wir nur sehr selten eingebunden.

Für unsere Betrachtung im Rahmen von Bauwerksinspektionen und zur Diskussion mit zuständigen Personen und Stellen haben wir das Ziel so definiert, dass Bauteile und Baugruppen versagen. Dabei ist das Schutzziel, dass bei einem Bemessungsereignis das zu schützende Objekt „unbeeinflusst“ bleibt. Hierbei wurden die Erfahrungen aus den Begehungen bei Ereignissen betrachtet und berücksichtigt. Diese Herangehensweise für flexible Sicherungsbauwerke wird im Rahmen des CONIS Kurses mit Expert:innen betrachtet und diskutiert. Grundsätzlich findet dies Zustimmung, da nicht alle Bauteile, die optisch auffällig sind, zu einem erhöhten Risiko bzw. zu einer Nichterreichung des Schutzzieles führen.

Es hat sich auch gezeigt, dass das Schutzziel unterschiedlich ausgelegt wird. So werden von den Bauherren teilweise Bauwerke mit einer niedrigeren Energieaufnahmekapazität verbaut und so bewusst ein höheres Restrisiko in Kauf genommen. Dies bedarf einer eindeutigen Kommunikation gegenüber der Öffentlichkeit durch die zuständigen Stellen. Besonders bei Überlastfällen, d.h. Ereignissen die eindeutig über der Bemessungsenergie waren, ist die teilweise Erfüllung des Schutzzieles schon ein Erfolg. Beides zeigt die Spannweite in einer hier nicht geführten Diskussion zum Thema Restrisiko.

3 Nutzungsdauer eines Bauteils

Die Lebensdauer eines Bauteils wird einerseits durch die Schadenereignisse, die die Funktionstüchtigkeit eines Elements beeinträchtigen können, und andererseits durch Korrosion, die sich auf die Tragfähigkeit eines Elements auswirkt, beeinflusst. Die EN ISO 14713-1 teilt die Umgebungsbedingungen in 6 Korrosivitätskategorien für die Atmosphäre und Kategorien für Wasser und Erdreich ein (Tabelle 2). Entsprechend ist in Abhängigkeit des Beschichtungssystems die Schutzdauer verschieden.

Korrosivitätskategorien für atmosphärische Umgebungsbedingungen (EN ISO 14713-1)		
C1	unbedeutend	< 0.7 g/m ² /a
C2	gering	> 0.7-5 g/m ² /a
C3	mäßig	> 5-15 g/m ² /a
C4	stark	> 15-30 g/m ² /a
C5	sehr stark	> 30-60 g/m ² /a
CX	sehr stark	> 60-180 g/m ² /a
Kategorien für Wasser und Erdreich (EN ISO 12944-2)		
Im1	Süßwasser	k.A.
Im2	Salz- oder Brackwasser	k.A.
Im3	Erdreich	k.A.

Tabelle 2: Einteilung in atmosphärische Korrosivitätskategorien nach EN ISO 14713-1 mit Angaben zum Abtrag der metallischen Korrosionsschutzschicht für Zink in g/m²/Jahr (a) (oben) sowie Wasser und Erdreich (unten) ohne Angaben zum Abtrag.



Wenn ein Systemelement nicht mehr voll funktions-tüchtig ist, muss es in der Regel ausgetauscht werden. Der genaue Austauschzeitpunkt für ein Bauteil müsste für jedes einzeln bestimmt werden. Wenn ein Bauteil aufgrund von Korrosion an Tragfähigkeit verliert, hängt seine Lebensdauer vom ausgewählten Sicherheitsfaktor, dargestellt mit der gelb gestrichelten Linie in Abbildung 1, ab. Wenn der Verlust der Tragfähigkeit (dünnerer Metallquerschnitt = geringere Bruchfestigkeit) das Element unsicher macht (rot gestrichelte Linie), muss es ausgetauscht werden. Auch eine Kombination aus Korrosion und Ereignissen ist möglich, wenn Dieses auch den Korrosionsschutz beschädigt.

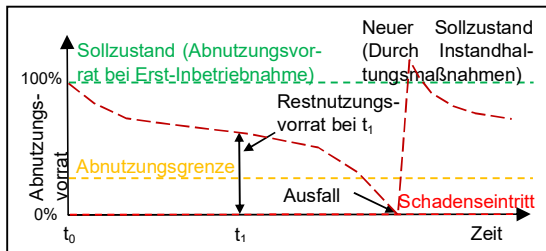


Abbildung 1: Modell des Abnutzungsvorrates nachgezeichnet und erweitert. Die Kurve zeigt den Abnutzungsvorrat nach Alcalde 2000.

Besondere Vorsicht ist bei Stahlbauteilen geboten, die sich teilweise in Wasser oder Erdreich befinden. Die Korrosion beschränkt sich unter solchen Bedingungen oft auf einen kleinen Teil des Bauwerks, der jedoch eine höhere Korrosionsgeschwindigkeit aufweisen kann.

Die Zusammensetzung des Wassers hat einen wesentlichen Einfluss auf die Korrosion von Stahl. Dazu kategorisiert die Norm EN ISO 12944-2 verschiedene Umgebungen (Tabelle 2). Im Erdreich ist die Korrosion abhängig von dessen Mineralstoffgehalt und von der Art dieser Mineralien, sowie von vorhandenen organischen Bestandteilen, Wasser- und Sauerstoffgehalt. Die Korrosivität von Böden wird stark vom Grad der Durchlüftung beeinflusst. Kalkhaltige und sandige Böden (vorausgesetzt, sie sind Chlorid frei) sind im Allgemeinen am wenigsten korrosiv, während Ton- und Tonmergelböden bis zu einem begrenzten Umfang zu Korrosion führen. In Moor- und Torfböden hängt das Korrosionsverhalten vom Gesamtsäuregehalt ab (Metaltec Suisse 2019).

4 Inspektion von Sicherungsbauwerken

In diesem Abschnitt wird auf die visuelle Begutachtung der Bauteile in Bezug auf deren Korrosion, einer möglichen Querschnittsverringerung und dadurch verursachten Tragfähigkeitsverlust eingegangen. Grundsätzlich muss bei einer Rotverfärbung der Bauteile geprüft und eingeschätzt werden ob und wie

stark die Korrosion ist. Als wichtiges Hilfsmittel hat sich hier eine Drahtbürste bewährt. Durch das Abbürsten kann das Grundmaterial freigelegt werden und dessen Oberflächenbeschaffenheit wird sichtbar. So lassen sich Aussagen zur Textur der Korrosionsprodukte, wie in Tabelle 3 dargestellt, machen. Es kann auch eine Aussage getroffen werden, ob es sich um einen Angriff des Grundmaterials handelt, nur die Oberfläche betroffen ist, oder es sich um Verschmutzungen oder sekundäre Korrosion handelt.

<p>pulvrig / fein → eher geringe fortschreitende Korrosion</p>	
<p>Körnig → Grundmaterial noch weitgehend eben / gleichmässig</p>	
<p>Blättrig → Grundmaterial angegriffen und löchrig</p>	

Tabelle 3: Beispiele für Textur Unterschiede von Rotrost Produkten und möglichen Auswirkungen auf das Grundmaterial.

Tabelle 4 zeigt die Grundlagen für eine optische Beurteilung im Allgemeinen und wie Bauteile bei den Begutachtungen erfasst und eingeordnet werden können. Wichtig ist die Einordnung im gelben Bereich. Hier muss entschieden werden, ob Schäden dokumentiert und bei der nächsten Begutachtung mögliche Veränderungen beurteilt werden, oder ob eine Laboruntersuchung durchgeführt wird. Die Laboruntersuchung kann u.a. die Bestimmung der Restzinkbeschichtung und die Prüfung der Tragfähigkeit einzelner Bauteile beinhalten.

Hierdurch kann zusätzlich Erfahrung aufgebaut werden, welche Erscheinungen noch akzeptabel sind. Nicht alle Bauteile sind für eine Laboruntersuchung geeignet. Es ist oft einfacher auffällige Bauteile präventiv auszutauschen. Handelt es sich jedoch um größere Flächen und ist der finanzielle Rahmen für z.B. einen Ersatz des Bauwerkes nicht gegeben so kann eine Aussage über die Restnutzungsdauer getroffen werden.

Bauteile sind neu, sehen neu aus, oder sind neuwertig. Es gibt keine besonderen Auffälligkeiten.
→ kein Reporting
→ keine Handlungen erforderlich

Bauteile zeigen Auffälligkeiten wie Gebrauchsspuren, Verfärbungen, Rotrost, etc. → Reporting der Auffälligkeit(en) → Grundsätzlich erfüllen die Bauteile ihre Funktion Entscheid durch den Bauwerksverantwortlichen	
a) Beurteilung der Veränderungen bei der nächsten Begutachtung	b) weitere Untersuchungen im Labor zur besseren Einschätzung
Bauteile sind auffallend geschädigt. Rotrost der abblättert, Materialquerschnitt verringert, Risse in Schweißnähten und Stahlbauteilen, etc. Um einen Ausfall der Bauteile zu vermeiden sind diese umgehend auszutauschen. → Zur besseren Einschätzung ist eine Verlaufsbeurteilung (Kategorie gelb) in der Dokumentation vorzunehmen	

Tabelle 4: Grundverständnis für die im CONSYS vorgeschlagene optische Beurteilung.

4.1 Linien- und Flächenpriorität

Neben der Bewertung der Bauteile an sich werden Baugruppen, als Linien- und Flächenpriorität (LP / FP), eingeführt. Mit dieser wird den Baugruppen und den darin enthaltenen Bauteilen eine unterschiedliche Bedeutung für das Versagen zugeordnet. Diese sollen zudem ein Verständnis für die Wichtigkeit einzelner Bauteile in den Baugruppen schaffen.

In diesem Sinne wird als Schutzziel davon ausgegangen, dass die Naturgefahr durch das Sicherungsbauwerk zurückgehalten wird und so keine Gefährdung für zu schützende Objekte entsteht (siehe Abschnitt 2.1). Bei der Produktentwicklung und aus Erfahrungen mit Steinschlagereignissen hat sich gezeigt, dass das Versagen bestimmter Baugruppen mehr oder weniger relevant für die Erreichung des Schutzzieles ist.

Auch bei optischen Auffälligkeiten durch Korrosionsprodukte sollen die LP / FP eine Entscheidungshilfe für das weitere Vorgehen bieten.

Tabelle 5 beschreibt die Wichtigkeit der Bauteile und Baugruppen für das Erreichen des Schutzzieles. Zudem ist die Zuordnung für ein Steinschlagschutzsystem farblich dargestellt.

Linienpriorität	Das Versagen / Teilversagen von Bauteilen in Baugruppen bedeutet nicht zwangsläufig das Versagen des Gesamtsystems
1: "extrem wichtig"	Beim Versagen der Bauteile ist das Bauwerk nicht mehr wirksam. Das Schutzziel wird ggf. nicht erreicht.
2: "wichtig"	Beim Versagen der Bauteile ist das Bauwerk bedingt wirksam. Je nach Belastungs- und Treffersituation kann das Schutzziel erreicht werden.

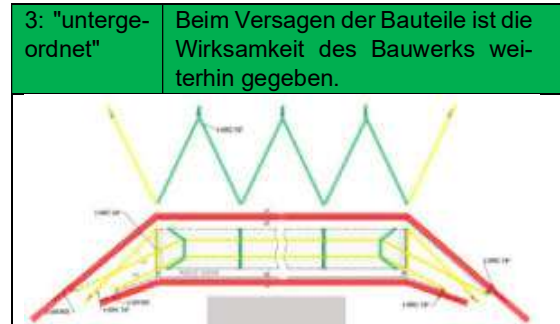


Tabelle 5: Darstellung des Baugruppenprinzips in der Linienpriorität (LP). Die Farben rot, gelb und grün sollen deren Bedeutung für deren Wichtigkeit für ein Systemversagen darstellen (Details siehe Text).

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen, dass trotz versagter Bauteile / Baugruppen das Schutzziel erreicht werden konnte.



Abbildung 2: Versagen einer Stütze durch Steinerschlag. Das Schutzziel wurde trotzdem erreicht.



Abbildung 3: Versagen eines Betonfundamentes. Das Schutzziel wurde trotzdem erreicht.

5 Bestimmung der Korrosivität und mögliche Ursachen

An Materialproben kann die effektive Korrosivität bestimmt, bzw. die Ursache für den Korrosionsangriff analysiert werden. Hierfür können z.B. Draht- als auch Bodenproben zur Untersuchung verwendet werden. Neben der Ermittlung der Restzinkbeschichtung kann eine Röntgenanalyse (EDX) gemacht werden. Hierbei werden die Korrosionsprodukte untersucht und deren Elemente ermittelt. Daraus kann abgeleitet werden, welche Stoffe beteiligt waren und um welche Umwelteinflüsse es sich handeln könnte.



Hierfür werden korrodierte, weniger und nicht korrodierte Drähte benötigt. Zusätzlich ist eine Dokumentation mit Fotos wichtig. Anhand von Bodenproben kann das Labor prüfen, ob z.B. Schwefel oder andere Stoffe im Boden vorhanden sind und den pH-Wert messen. Eine Beschreibung der Geologie ist ebenfalls sinnvoll und ob es Veränderungen gibt, die mit korrodierten Bereichen korrelieren.

Messungen des pH-Wertes im Oberflächenwasser sind sinnvoll und können vor Ort durchgeführt werden.

5.1 Zu erwartende Nutzungsdauer und Korrosionssensor

Eine Messung der atmosphärischen Umgebungsbedingungen ist möglich. Seit ca. 4 Jahren gibt es einen Korrosionssensor der über das Geobrugg GUARD Fernüberwachungssystem, montiert am Seil von flexiblen Sicherungsbauwerken, die Korrosivität der atmosphärischen Umgebung misst. So kann überprüft werden ob die theoretische Nutzungsdauer aus den Normen mit der vor Ort übereinstimmt. Werden Messungen im Vorfeld der Baumaßnahme gemacht kann der Korrosionsschutz auf die Verhältnisse vor Ort angepasst werden.

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem GUARD Dashboard mit den Angaben zur Korrosivität und der Einordnung in die Korrosivitätsklassen (EN ISO 14713-1).



Abbildung 4: Ausschnitt aus dem GUARD Dashboard mit Angaben zur Korrosivität und Einordnung in die Korrosivitätsklassen in C1 bis CX.

6 Praxisbeispiel Ruhrgebiet

Hierbei handelt es sich um eine Sicherung mit dem TECCO Böschungsstabilisierungssystem. Es sind Bereiche im Lockergestein und im Fels. Im Lockergestein wurde eine Erosionsschutzmatte verlegt. Für die Begrünung wurde Humus angespritzt, auf den eine Nassansaat aufgebracht wurde. Die Installation erfolgte im Jahr 2002. Die Beprobung, zur Ermittlung der Restzinkbeschichtung, wurde in zwei unterschiedlichen Kategorien durchgeführt. "Halb eingewachsen" (HE) - "Vollständig eingewachsen" (VE).

Insgesamt wurden im Jahr 2017 (nach 15 Jahren) an 9 Stellen Proben entnommen. Es wurde an Drahtabschnitten die Restzinkbeschichtung (insgesamt 44 Drähte) nach DIN EN 10244-2 mit dem gasvolumetrischen Verfahren ermittelt.

Tabelle 6 zeigt die ermittelten Restzinkbeschichtungen in g/m² für die Drähte je Kategorien und den Mittelwert daraus in g/m² und µm.

Probe	Restzinkbeschichtung Drahtabschnitte g/m²	Mittelwerte g/m² - µm
HE1	127 / 135 / 134 / 122 / 134 / 137	Ø 131- 18.3
HE2	159 / 174 / 177 / 147 / 157 / 172	Ø 164- 22.9
HE3	162 / 162 / 172 / 157 / 172	Ø 165- 23.1
VE4	107 / 100	Ø 103- 14.4
VE5	101 / 117 / 112	Ø 110- 15.4
VE6	71 / 69 / 71 / 76 / 76 / 91	Ø 76 - 10.6
HE7	91 / 108 / 108 / 106 / 121	Ø 107- 15.0
HE8	110 / 165 / 70 / 80 / 70 / 131 / 78	Ø 101- 14.1
HE9	147 / 160 / 117 / 162	Ø 146- 20.4

Tabelle 6: Auswertung und Darstellung der ermittelten Restzinkbeschichtungen. Es wird von einer Anfangsbeschichtung von im Mittel 180 g/m², was 25.2 µm entspricht ausgegangen.

Anhand der gültigen Normen und Fachliteratur (Nünninghoff, 1987, 1998, 2003) über die Langzeiterfahrungen mit Zn/Al Beschichtungen (Galfan) kann über die Zeit von einem verlangsamten Abtrag ausgegangen werden. Die Werte dazu sind in Abbildung 5 geplottet. Es zeigt sich eine starke Streuung. Das heißt, auch innerhalb einzelner Maßnahmen ist, je nach Situation, von unterschiedlichen Abtragsraten auszugehen. Im Extremfall können unterschiedliche Korrosivitätskategorien an einer Installation vorkommen.

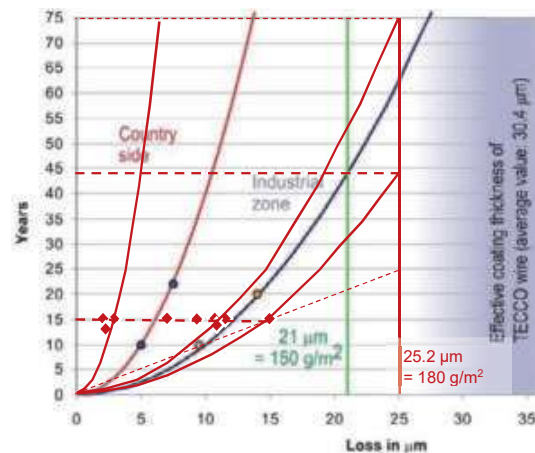


Abbildung 5: Grafische Darstellung der zu erwartenden Nutzungsdauer in Jahren (y-Achse) und der Restzinkbeschichtung nach 15 Jahren „invers“ (Rauten). Auf Grundlage der Literatur (Kreise) bezugnehmend auf Nünninghoff, 2003 wurde der Abtragverlauf extrapoliert. 8 Proben zeigen eine zu erwartende

Nutzungsdauer von grösser 50 Jahren. Eine Probe liegt bei ca. 40 Jahren.

7 Einordnung in eine Lebenszyklus-Betrachtung

Das Life-Cycle-Management betrachtet den gesamten Lebenszyklus der Bauwerke von der Planung (BOL), über den Betrieb (MOL), bis zum Rückbau (EOL) (Abbildung 6).

In den beschriebenen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass bei der Planung (BOL) über die Bestimmung der Korrosivitätskategorie die Nutzungsdauer positiv beeinflusst werden kann. Bei aggressiverer Umgebung kann ein verbesserter Korrosionsschutz verwendet werden.

Im Betrieb der Bauwerke (MOL) kann die Nutzungsdauer durch regelmäßige Inspektionen und eine Priorisierung der Baugruppen verbessert werden. Um dies jedoch sinnvoll umzusetzen und einschätzen zu können, empfehlen wir Schulungen, wie z.B. den CONSYS Kurs.



Abbildung 6: Darstellung des Life-Cycle-Costing (LCC). Es werden nur die Kosten betrachtet und eingeteilt in den Beginn, die Mitte und das Ende des Lebenszyklus. Dies entspricht den Anschaffungs-, Betriebs- und Entsorgungskosten (Bode M. et. al, 2011).

Die Korrosivität kann innerhalb einer Baumaßnahme / Verbauung lokal verschieden sein. Durch Inspektionen kann dies erkannt werden. Es empfiehlt sich dann den Verlauf zu dokumentieren, oder Proben für Laboruntersuchungen zu entnehmen. So kann eine bessere Aussage über den Zeitpunkt und die Notwendigkeit für einen Austausch gemacht werden.

Alle Bestrebungen sollen dazu dienen den Betrieb (MOL) der Bauwerke zu verlängern und die Sicherheit auf einem gleichbleibend hohen Niveau zu halten.

Durch die Verlängerung der Nutzungsdauer ist von einer deutlichen Reduktion der Anschaffungskosten je Jahr auszugehen. Dies reduziert auch den zusätzlichen Ausstoß von z.B. klimaschädlichen Gasen.

Literaturverzeichnis

- Alcalde Rasch, A. (2000). *Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements*. Berlin: Erich Schmidt Verlag
- Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden (2018). *Handbuch Schutzbautenkontrolle*. www.gr.ch
- BAFU (2001) & Ergänzungen (2006). *Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag*. Bundesamt für Umwelt, Bern
- Baumann R. (2018). *Grundlagen für die Qualitätssicherung von Steinschlagschutznetzen und deren Foundation. Anleitung für die Praxis*. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1805
- Bode, M.; Bünting, F.; Geißdörfer, K. (2011). *Rechenbuch der Lebenszykluskosten*. Frankfurt
- DIN EN 10244-2 (2009). *Stahldraht und Drahterzeugnisse – Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht – Teil 2: Überzüge aus Zink oder Zinklegierungen*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V
- DIN Taschenbuch 286 (1998). *Korrosionsschutz von Stahl durch Beschichtungen und Überzüge 4; DIN EN ISO 12944-1 bis DIN EN ISO 12944-8*. Beuth
- EN ISO 14731-1 (2009) *Zinküberzüge - Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion - Teil 1: Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit (ISO 14713-1:2009)*. Brüssel
- Gröner E.; Roduner, A. (2013). *Zu erwartende Nutzungsdauer von „Steinschlagschutznetzen“: Korrosionsschutz, Langzeitverhalten, Perspektiven*. Mainz: Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen
- Gröner E.; Roduner, A. (2018). *Langzeiterfahrungen von Böschungsstabilisierungen mit hochfesten Drahtgeflechten*. Mainz: Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen
- Krauter, E.; Scholz, W. (1996). *Langzeitverhalten von Schutznetzverhängungen gegen Steinschlag*. Geotechnik 19, Nr. 2
- Margreth (2003). *Überwachung und Unterhalt im Lawinenverbau., Unterhalt und Überwachung von Massnahmen*. FAN Herbstkurs 2003
- Metaltec Suisse Merkblatt TK 003 Ausgabe 2 (2019). *Feuerverzinken und Duplex-Systeme*. Thun
- Nünninghoff, R.; Sczepanski, K. (1987). *Galfan – ein neuartiger, verbesserter Korrosionsschutz für Stahldraht*. Bamberg: Draht 38, No. 1&2
- Nünninghoff R. (1998). *Vergleichende Korrosionskurzzeit-Tests an feuerverzinkten und galfan-verzinkten Stahldrähten*; Bergische Universität Wuppertal
- Nünninghoff, R. (2003). *Long-term experience with Galfan*. Bamberg: Wire 3/2003