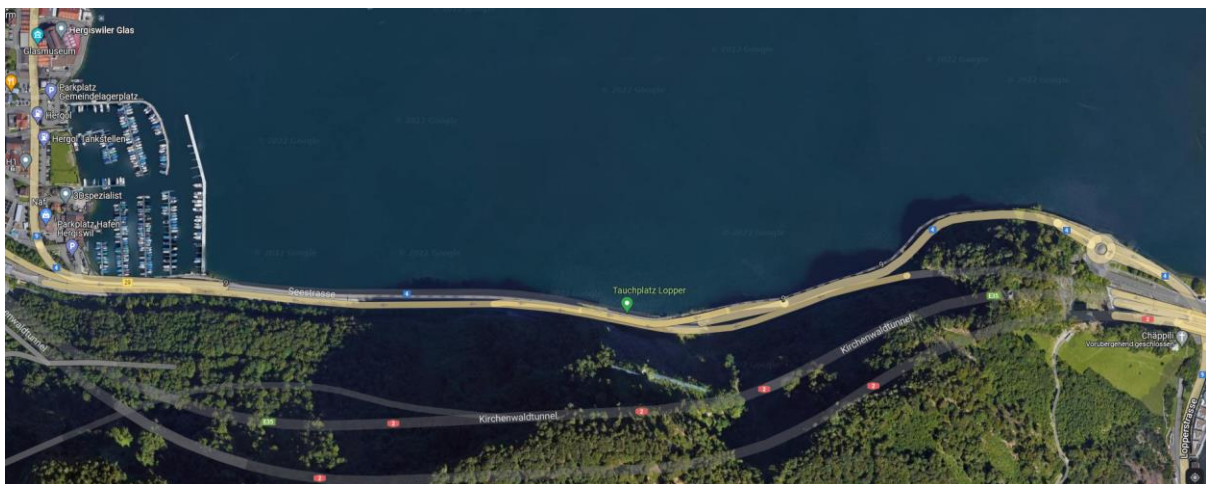


MACHBARKEITSSTUDIE FUSS- UND VELOWEGBELEUCHTUNG LOPPER NORD



INHALTSVERZEICHNIS:

1. Projektziel	3
2. Grundlagen	3
2.1 Kennzahlen Nutzung von Rad & Gehweg Lopper (GIS-Daten der KH1 HER Seestrasse)	3
3 Photovoltaik (PV) Leuchten mit Akkupaket	4
3.1 Beschrieb	4
3.2 Energie Erzeugung / Verbrauch Photovoltaik Leuchte	4
3.3 Betriebskosten.....	5
4 Elektrische Erschliessung über ASTRA Bauwerk und Galerie	6
4.1 Beschrieb	6
4.2 Energieverbrauch	6
4.3 Betriebskosten.....	6
5 Elektrische Erschliessung über Rohranlage in Boden	7
5.1 Elektrische Erschliessung der Beleuchtung vom Fuss- und Veloweg.....	7
5.2 Energieverbrauch	7
5.3 Betriebskosten.....	7
6 Dynamische Steuerung in der Öffentlichen Beleuchtung	7
7 Grobkostenschätzung	8
7.1 Erstellungskosten Photovoltaik Leuchten mit Akku.....	8
7.2 Betriebs und Unterhaltskosten Photovoltaik Leuchten mit Akku.....	8
7.3 Erstellungskosten mit Leitungsführung an ASTRA Bauwerk und Galerie.....	9
7.4 Erstellungskosten mit Leitungsführung Rohranlage in Boden	9
7.5 Betriebs und Unterhaltskosten Drahtgebundene Beleuchtung.....	10
8 Gegenüberstellung der Kosten auf eine Lebensdauer von 20 Jahren	10
9. Empfehlung	10
9.1 Begründung Empfehlung Photovoltaik Leuchte mit Akku	10
9.2 Risiko Abwägung	11
9.3 Kosten.....	11

IMPRESSUM

Auftraggeber	Kanton Nidwalden Baudirektion – Amt für Mobilität AMO Buochserstrasse 1 6371 Stans
Verfasser	Stromplan AG, Reto Amstad
Verteiler	Baudirektion – Amt für Mobilität AMO, 6371 Stans
Versionen	Version3 21.11.23

1. PROJEKTZIEL

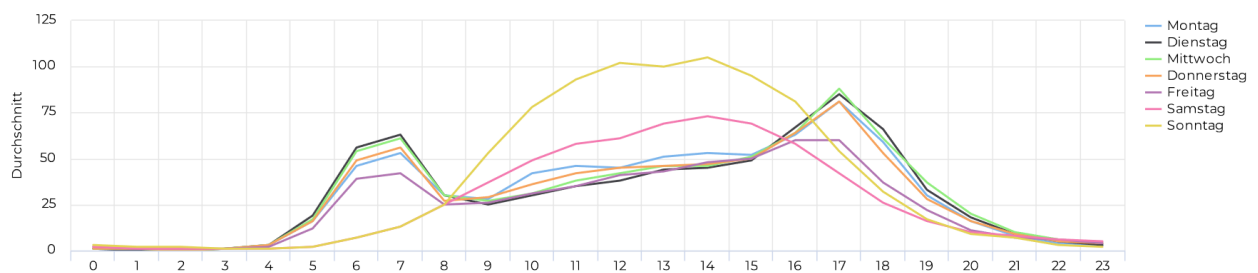
Mit der Erstellung der Machbarkeitsstudie wird die Grundlage geschaffen, welche Kosten für die Erstellung und den Betrieb für eine öffentliche Beleuchtung im Abschnitt Lopper Nord für den Rad- und Fussweg anfallen. Es werden 3 Varianten geprüft. Diese sind eine Beleuchtung mit Photovoltaik Leuchte mit Akkupaket einerseits und einer Fixverkabelung mit Erschliessung ab Stansstad und Hergiswil andererseits, wobei wir hier noch zwischen einer Fixverkabelung mit Leitungsführung am Astra Bauwerk und einer Fixverkabelung über den Boden mittels Rohranlage unterscheiden.

- Lösungsvariante 1 Photovoltaik und Akkupaket
- Lösungsvariante 2 Fixverkabelung mit Leitungsführung ASTRA Bauwerk / Galerie
- Lösungsvariante 3 Fixverkabelung mit Rohranlage im Boden
- Dynamische Steuerung
- Aufzeigen Kosten für Erstellung
- Empfehlung

2. GRUNDLAGEN

2.1 Kennzahlen Nutzung von Rad & Gehweg Lopper (GIS-Daten der KH1 HER Seestrasse)

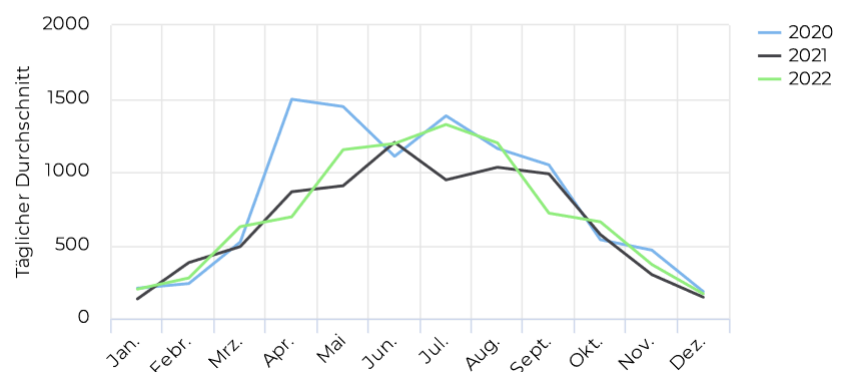
Tagesganglinie - Wochentage



An diesem Standort wurden durch den Kanton Nidwalden Verkehrszählungen gemacht und ausgewertet. Diesen Ergebnissen ist zu entnehmen, dass in den Wintermonaten Dezember und Januar jeweils täglich ca. 250 Fahrradfahrer die jeweilige Passage befahren. Auch zeigt sich, dass in der Nacht zwischen 22:00 Uhr und 04:00 Uhr beinahe niemand unterwegs ist.

Jahresvergleich

3 Zeiträume



3 PHOTOVOLTAIK (PV) LEUCHTEN MIT AKKUPAKET

3.1 Beschrieb

Zurzeit gibt es keine elektrische Erschliessung im Bereich der Kantonsstrasse / Veloweg / Fussgänger beim Lopper.

Daher bietet sich eine Lösung mit Photovoltaik / Akkupaket an. Der Vorteil dieser Variante ist, dass es keine aufwändigen Leitungsbauarbeiten benötigt. Da der Lopper jedoch an einem Nordhang liegt, gibt es im Winter keine Sonneneinstrahlung. Eine Photovoltaik Panel erzeugt im Schatten nur ca. 10% seiner Leistung. Da im Winter die Tage sehr kurz und die Nächte lang sind, muss mit der erzeugten Energie sorgfältig umgegangen werden. Da jedoch im Winter das Fahrrad Verkehrsaufkommen sehr gering ist, muss mit einer dynamischen Steuerung die Beleuchtung nur minimal betrieben werden.

Diese Lösung mit Photovoltaik und Akkuspeicher hat den Vorteil, dass auf die aufwendigen und teuren Grabarbeiten wie Kabelinstallationen verzichtet werden kann.



3.2 Energie Erzeugung / Verbrauch Photovoltaik Leuchte

Da am vorgesehenen Standort unterhalb der Autobahnbrücke während des gesamten Jahres auf Grund von Verschattung nur wenig direkte Sonneneinstrahlung einfällt, muss sichergestellt werden, dass die am Tag produzierte Energie auch an Tagen mit schlechtem Wetter ausreicht, um eine Beleuchtung in der Nacht sicherzustellen. Nachfolgend zeigen wir in der Berechnung die Energiegewinnung und den Verbrauch im Winter auf.

Zusätzlich muss, um den Energiebedarf zu senken, auf eine intelligente Steuerung gesetzt werden. Mit Hilfe der dynamischen Steuerung erhält jede Leuchte eine eigene Intelligenz. Die Intelligenz sorgt dafür, dass die Leuchte nur dann einschaltet, wenn sich gerade eine Person dem Standort der Leuchte nähert. Somit Leuchten immer nur die Leuchten, welche im Moment für das sichere Begehen oder Befahren des Weges benötigt werden. Mit Hilfe dieser Steuerung kann der Energiebedarf gegenüber einem nächtlichen Dauerlicht deutlich gesenkt werden, da die Leuchten nur punktuell und in kurzen Zeiträumen tatsächlich leuchten. Um neblige und regnerische Tage zu überbrücken wird ein Akku mit hoher Speicherkapazität eingesetzt, welcher eine Autonomiezeit von 13 Tagen hat.

Die PV-Module der Leuchte haben eine Nennleistung von 300 Wp*. Am 21. Dezember ist der Lopper Nord in Folge Verschattung ohne Sonne, jedoch ist von einer Tageslichthelligkeit von 8 h auszugehen. Die Tageshelligkeit ist stark von den herrschenden Witterungsverhältnissen abhängig, so beträgt die Tageshelligkeit an einem nebligen Tag bedeutend weniger. Ein PV-Modul produziert bei Tageshelligkeit ohne direkte Sonneneinstrahlung auch Strom, jedoch sinkt der Wirkungsgrad eines Photovoltaik Moduls bei Verschattung um bis zu 90%. Bei Nebeltagen ist nur noch eine geringe Stromproduktion durch die Photovoltaik Module möglich.

Auf Grund von Verlusten bei der Speicherung im Akkumulator wird im anschliessenden Rechenbeispiel nur mit 200W anstatt den Nenndaten von 300Wp gerechnet.

An einem Tag mit nur Tageslichthelligkeit beträgt die Leistung eines PV-Moduls somit noch 20W.

Formel:

$$\left[P_{Winter} = \frac{P_n}{100\%} * \eta_{Winter} = \frac{200W}{100\%} * 10\% = 20W \right]$$

Da es in den Wintermonaten am Morgen erst spät hell und am Abend entsprechend früh dunkel wird, muss die Beleuchtung bereits früher ein bzw. kann erst später ausgeschaltet werden. An einem Wintertag am 21. Dezember produzieren die PV-Module 180Wh Energie.

Formel:

$$\left[W_{Tag} = P_{Nebel} * t_{Tag} = 20Wp * 8h = 180Wh \right]$$

Mit der am Tag gespeicherten Energie kann in der Nacht die Beleuchtung, während 6h eingeschaltet werden.

Formel:

$$\left[t_{Leuchte} = \frac{W_{Tag}}{P_{Leuchte}} = \frac{180Wh}{30W} = 6h \right]$$

Wird die Beleuchtung pro Impuls während 1 Min. eingeschaltet, so kann die Beleuchtung in einer Nacht 360 mal eingeschaltet werden.

Formel:

$$\left[n_{Einschaltungen} = \frac{t_{Leuchte}}{t_{Einschaltung}} = \frac{360Min.}{1Min.} = 360 \right]$$

**Wp ist die Masseinheit für die Leistung einer Photovoltaikanlage. Hierbei handelt es sich um die elektrische Höchstleistung von PV-Anlagen oder PV-Modulen. Die tatsächliche Betriebsleistung hängt unter anderem von Temperatur, Neigung der Dachfläche oder Lichteinstrahlung ab. Die elektrische Höchstleistung erreicht die Anlage nur bei direkter Sonneneinstrahlung. Der tatsächliche Wert schwankt im Verlaufe des Tages teils beträchtlich.*

3.3 Betriebskosten

Da die Energie selbständig erzeugt wird, entstehen keine Kosten für den Betrieb.

4 ELEKTRISCHE ERSCHLIESSUNG ÜBER ASTRA BAUWERK UND GALERIE

4.1 Beschrieb

Zurzeit gibt es keine elektrische Erschliessung im Bereich der Kantonsstrasse / Veloweg / Fussgänger beim Lopper Nord. Da die Strecke, welche beleuchtet werden muss, 1.2 km lang ist, benötigen wir eine elektrische Erschliessung von Hergiswil und Stansstad. Das EWN hat auch keine Rohrverbindung von Stansstad nach Hergiswil. Für die elektrische Erschliessung der Fuss- und Velowegbeleuchtung werden 2 Verteilkabinen erstellt, welche durch das EWN erschlossen werden. Für die Erschliessung der Leuchten wird unter der Astra-Brücke der Autobahn ein Kabeltrasse montiert. Die restlichen 250m, welche nicht überdacht sind und somit nicht über das Kabeltrasse erschlossen werden können, werden via neuer Rohranlage erschlossen.

Die Erstellung der Öffentlichen Beleuchtung erfolgt mit konventionellen Standardprodukten (Strassenleuchten) welche über eine Zhaga Schnittstelle verfügen für die dynamische Steuerung.

Der Vorteil einer öffentlichen Beleuchtung mit Energie ab dem Verteilnetz EWN ist, dass die Beleuchtung die ganze Nacht über auf einem tiefen Wert betrieben werden kann.

4.2 Energieverbrauch

ÜBERSICHT								
Beleuchtungsvariante	Leistung bei 22W Leuchte		Lichtstärke	Anzahl Leuchten	Uhrzeit	Bemerkungen	Anzahl Tage	Leistung im Sommer Halbjahr
Variante Sommer mit dyn. Steuerung	13	W	30 bis 70 %	40	05:00-06:00	1 h Brenndauer	182	95 kWh
	4	W	0 bis 10 %	40	22:00-05:00	7 h Brenndauer	182	204 kWh
Total								299 kWh

ÜBERSICHT								
Beleuchtungsvariante	Leistung bei 22W Leuchte		Lichtstärke	Anzahl Leuchten	Uhrzeit	Bemerkungen	Anzahl Tage	Leistung im Winter Halbjahr
Variante Winter mit dyn. Steuerung	22	W	100 %	40	05:00-08:00	3 h Brenndauer	183	483 kWh
	13	W	30 bis 70 %	40	20:00-21:00	1 h Brenndauer	183	95 kWh
	7	W	10 bis 50 %	40	21:00-22:00	1 h Brenndauer	183	51 kWh
	4	W	0 bis 10 %	40	22:00-05:00	7 h Brenndauer	183	205 kWh
Total								834 kWh

4.3 Betriebskosten

Angaben mit Kosten für Energie mit EWN Naturstrom Fr. 0.20 Rp/kWh (Preisstand 2023)

Monatlicher Grundpreis EWN Naturstrom: Fr. 11.30.- pro Monat (Fr. 135.60 pro Jahr)

Steuerungsvarianten	Leistung	EWN Naturstrom pro kWh	Grundpreis 2x (11.30 Fr./Mt.)	Anzahl Tage	Betriebskosten in Fr.
Variante Sommer mit dyn. Steuerung	299 kWh	0.2 Fr/kWh	135 Fr.	182	190 Fr.
Variante Winter mit dyn. Steuerung	834 kWh	0.2 Fr/kWh	135 Fr.	183	300 Fr.
Jahreskosten mit dyn. Steuerung	1133 kWh	0.2 Fr/kWh	270 Fr.	365	500 Fr.

5 ELEKTRISCHE ERSCHLIESSUNG ÜBER ROHRANLAGE IN BODEN

5.1 Elektrische Erschliessung der Beleuchtung vom Fuss- und Veloweg

Zurzeit gibt es keine elektrische Erschliessung im Bereich der Kantonsstrasse / Veloweg / Fussgänger beim Lopper. Da die Strecke, welche beleuchtet werden muss, 1.2 km lang ist, benötigen wir eine elektrische Erschliessung von Hergiswil und Stansstad. Das EWN hat auch keine Rohrverbindung von Stansstad nach Hergiswil. Die Rohranlage müsste somit komplett neu erstellt werden. Zurzeit prüft das EWN, ob sie die Chance nutzen will, zusammen mit den Grabarbeiten für die Strassenbeleuchtung ebenfalls eine Rohrverbindung von Stansstad nach Hergiswil zu erstellen. Die Gemeinde Hergiswil ist zurzeit mit einem Seekabel an das Netz vom EWN angebunden. Für die elektrische Erschliessung der Fuss- und Velowegbeleuchtung werden 2 Verteilnkabinen erstellt, welche durch das EWN erschlossen werden.

Der Vorteil einer öffentlichen Beleuchtung mit Energie ab dem Verteilnetz EWN ist, dass die Beleuchtung die ganze Nacht über auf einem tiefen Wert betrieben werden kann.

5.2 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch verändert sich nicht zur Variante 2 und ist identisch

5.3 Betriebskosten

Der Energieverbrauch verändert sich nicht zur Variante 2 und ist identisch

6 DYNAMISCHE STEUERUNG IN DER ÖFFENTLICHEN BELEUCHTUNG

Was ist eine dynamische Steuerung?

Eine dynamische Steuerung detektiert mit Sensoren an jeder Leuchte die Bewegung (Velo / Fussgänger). Dadurch kann die Beleuchtung in verkehrarmen Zeiten ganz ausgeschaltet und in den niedrig frequentierten Zeiten auf einem tiefen Dimmwert betrieben werden. Bei der Detektion von einem FussgängerIn oder VelofahrerIn wird jedoch die Beleuchtung eingeschaltet. Es wird aber nicht nur die Leuchte, welche die Bewegung detektiert hat, sondern auch die 4 angrenzenden Leuchten eingeschaltet. Dadurch ergibt sich ein gutes Sicherheitsgefühl.

Mit einer dynamischen Beleuchtung wird auch die Lichtverschmutzung auf ein Minimum reduziert.

Die Beleuchtung kann zu den stark frequentierten Zeiten in Dauerschaltung betrieben werden, damit kein störendes andauerndes Ein- und Ausschalten stattfindet.

7 GROBKOSTENSCHÄTZUNG

Kostengenauigkeit +/- 25%

Preise exkl. MwSt

Preisstand September 2023

7.1 Erstellungskosten Photovoltaik Leuchten mit Akku

BKP	BKP-Position / Beschrieb	Beschrieb / Bemerkungen	E- Preis	Anzahl	Total	Kosten CHF
23	Elektroanlagen					388'000.00
233	Installation und Lieferung PV-Leuchten		8'500.00	40	340'000.00	
233.1	Lieferung und IBS dynamische Steuerung		200.00	40	8'000.00	
293	Honorar		40'000.00	1	40'000.00	
			Summe exkl. MWST			388'000.00
839	Unvorhergesehenes		10%			39'000.00
Gesamtsumme (gerundet auf 100'000)			Total MWST			400'000.00

7.2 Betriebs und Unterhaltskosten Photovoltaik Leuchten mit Akku

jährliche Betriebs- & Unterhaltskosten:						
Kosten	Beschrieb / Bemerkungen	E- Preis	Anzahl	Total	Kosten CHF	
Unterhaltskosten					9'200.00	
Reinigung	Leuchte und PV Panel	100.00	40	4'000.00		
Ersatz Akku	Akku Ersatz nach 10 Jahren	1'300.00	4	5'200.00		
(Um die jährlichen Kosten auszuweisen werden 4 Akku Ersatz pro Jahr eingerechnet)						
Betriebskosten					400.00	
Energiekosten	Strombezug / Zählermiete	keine			0	
Gebühren dynamische Steuerung	Steuerung dynamisch		10	40	400.00	
				Total exkl. MWST		9'600.00

7.3 Erstellungskosten mit Leitungsführung an ASTRA Bauwerk und Galerie

Grobkostenschätzung exkl. MWST:					
BKP	BKP-Position / Beschrieb	E- Preis	Anzahl	Total	Kosten CHF
21	Baumeister				590'000.00
	Erstellung Rohranlage inklusive Grab- und Belagsarbeiten pro lm Angabe BD/AMO mit Kenntnissen der Strassenanlage	800.00	250	200'000.00	
	Erstellung Rohranlage Erschliessung Leuchten von Hergiswil	600.00	350	210'000.00	
	Erstellung Rohranlage Erschliessung Leuchten von Stansstad	600.00	200	120'000.00	
	Honorare	60'000.00	1	60'000.00	
23	Elektroanlagen				743'000.00
231	Erschliessung von der öffentliche Beleuchtung	60'000.00	2	120'000.00	
232	Erstellung Kabeltrasse an Astra - Brücke / Galerie Lopper	300.00	950	285'000.00	
232	Verteilkabine	15'000.00	2	30'000.00	
233	Lieferung Beleuchtung und Montage Betriebsbereit	6'000.00	40	240'000.00	
233.1	Lieferung und IBS dynamische Steuerung	200.00	40	8'000.00	
239	Honorare	60'000.00	1	60'000.00	
21 / 23		Summe exkl. MWST			1'333'000.00
839	Unvorhergesehenes und Zusatzanforderungen Bauherrschaft	10%			133'000.00
Gesamtsumme (gerundet auf 100'000)		Total exkl. MWST			1'500'000.00

7.4 Erstellungskosten mit Leitungsführung Rohranlage in Boden

BKP	BKP-Position / Beschrieb	E- Preis	Anzahl	Total	Kosten CHF
21	Baumeister				1'390'000.00
	Erstellung Rohranlage inklusive Grab- und Belagsarbeiten pro lm Angabe BD/AMO mit Kenntnissen der Strassenanlage	800.00	1200	960'000.00	
	Erstellung Rohranlage Erschliessung Leuchten von Hergiswil	600.00	350	210'000.00	
	Erstellung Rohranlage Erschliessung Leuchten von Stansstad	600.00	200	120'000.00	
	Honorare	1.00	100000	100'000.00	
23	Elektroanlagen				458'000.00
231	Erschliessung von der öffentliche Beleuchtung	60'000.00	2	120'000.00	
232	Verteilkabine	15'000.00	2	30'000.00	
233	Lieferung Beleuchtung und Montage Betriebsbereit	6'000.00	40	240'000.00	
233.1	Lieferung und IBS dynamische Steuerung	200.00	40	8'000.00	
239	Honorare	60'000.00	1	60'000.00	
21 / 23		Summe exkl. MWST			1'848'000.00
839	Unvorhergesehenes und Zusatzanforderungen Bauherrschaft	10%			185'000.00
Gesamtsumme (gerundet auf 100'000)		Total exkl. MWST			2'000'000.00

7.5 Betriebs und Unterhaltskosten Drahtgebundene Beleuchtung

jährliche Betriebs- & Unterhaltskosten:					
Kosten	Beschrieb / Bemerkungen	E- Preis	Anzahl	Total	Kosten CHF
Unterhaltskosten					4'000.00
Reinigung	Leuchte	100.00	40	4'000.00	
Betriebskosten					900.00
Energiekosten	Strombezug / Zählermiete		1	500	500.00
Gebühren dynamische Steuerung	Steuerung dynamisch		10	40	400.00
Total exkl. MWST					4'900.00

8 GEGENÜBERSTELLUNG DER KOSTEN AUF EINE LEBENSDAUER VON 20 JAHREN

Kostenvergleich über 20 Jahre			
	Erstellungskosten	Betriebs- & Unterhaltskosten (20 Jahre)	Gesamt Kosten
Variante 1 (PV Leuchte) (2 Akkuersatz Eingerechnet)	CHF 400'000.00	CHF 192'000.00	CHF 600'000.00
Variante 2 (ASTRA Bauwerk)	CHF 1'500'000.00	CHF 98'000.00	CHF 1'600'000.00
Variante 3 (Rohranlage)	CHF 2'000'000.00	CHF 98'000.00	CHF 2'100'000.00
alle Angaben exkl. MwSt. gerundet auf 100'000			

9. EMPFEHLUNG

9.1 Begründung Empfehlung Photovoltaik Leuchte mit Akku

Wir empfehlen die Rad- und Gehweg Beleuchtung auf jedenfall mit einer dynamischen Steuerung zu realisieren. Damit werden die Lichtemission und der Energieverbrauch massiv gesenkt.

Infolge der fehlenden elektrischen Erschliessung im Bereich Lopper Nord empfehlen wir die Beleuchtung mit Photovoltaik Leuchten und Akkuspeicher zu realisieren. Auch wenn der Standort am Lopper Nord in den Wintermonaten kein direktes Sonnenlicht hat, sind wir überzeugt, dass mit dem vorhandenen Tageslicht die nötige Energie für die Rad- und Gehweg Beleuchtung erzeugt werden kann. Mit der erzeugten Energie muss jedoch sorgfältig umgegangen werden. Eine Dauerbeleuchtung während der gesamten Nacht kann nicht realisiert werden.

Da die Kennzahlen zur Nutzung des Rad- und Gehweges in den Wintermonaten auch eine geringe Frequenz zeigen, kann mit einer optimalen Steuerung die Beleuchtung für die Nutzer sichergestellt werden.

Der Kostenvergleich der drei Varianten zeigt bei den Erstellungskosten klare Vorteile für die Variante 1 Photovoltaik Akku Beleuchtung auf, bei den Betriebskosten auf 20 Jahren sind die Unterschiede marginal.

9.2 Risiko Abwägung

Bei einer Drahtgebundenen Lösung mit Energie ab dem EWN-Verteilnetz ist die Beleuchtung ganzjährlich sichergestellt. Diese Lösung ist bestens bekannt und sicher.

Bei der Photovoltaik mit Akkulösung besteht ein Risiko, dass im Winter speziell bei einem langanhaltenden Nebel oder einer schlecht Wetterphase nicht genügend Energie erzeugt werden kann. Dieses Risiko wird durch die dynamische Steuerung der Beleuchtung reduziert da die Beleuchtung nur punktuell und für kurze Zeit bei der Nutzung des Rad- und Gehweges eingeschalten wird. Weiter kann durch eine dynamische Steuerung die Beleuchtungsstärke durch die Dimmung reduziert werden welches wiederum einen positiven Einfluss auf den Energie Verbrauch hat.

Im Frühling, Sommer und Herbst wird die Energieerzeugung dank dem Sonnenlicht und der längeren Tageslichtphase deutlich besser. Die Nutzung vom Rad und Gehweg nimmt zwar deutlich zu jedoch nimmt die Beleuchtungsdauer durch die kürzeren Nächte wieder ab. Somit ist in dieser Zeit genügend Energie für eine ausreichende Beleuchtung vorhanden.

9.3 Kosten

Bei der Kosten Betrachtung schneidet die Lösung Photovoltaik Akku Lösung deutlich besser ab, sind doch die Erstellungskosten mit 400'000 Fr. rund 1 Mio. Fr tiefer als bei einer Draht gebunden Lösung. Bezieht man nur die Betriebs- und Unterhaltskosten in Betracht ist die Photovoltaik Beleuchtung in Folge Akku Ersatz über eine Dauer von 20 Jahre jährlich teurer. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass alle 10 Jahre ein Akkuersatz notwendig ist, somit sind in den Kosten für 20 Jahre zwei Akkuersatz eingerechnet. Die Betriebs- und Unterhaltskosten belaufen sich über 20 Jahre auf 200'000 Fr. gegenüber 100'000 Fr. für eine Draht gebundene Lösung. Somit ist bei der ganzheitlichen Betrachtung die Variante Photovoltaik mit Akku die wirtschaftlichste Lösung.