

Bericht

Projektkonsortium Wasserkraft Plessur

KW Pradapunt

Konzessionsprojekt

Technischer Bericht

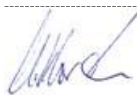


Schmid Erich HTE

30. September 2024

Ref.-Nr. H 19043

Details zum Dokument

Titelbild	Rungser Rüfi oberhalb Molinis		
Dokumentart/ -klasse	Bericht		
Nummer	H 19043		
Auftraggeber	Projektkonsortium Wasserkraft Plessur		
Anlage/Objekt	KW Pradapunt		
Titel	Konzessionsprojekt		
Betreff	Technischer Bericht		
Erstellt	30.09.2024	Schmid Erich HTE	
Geprüft	30.09.2024	Oberholzer Peter HAB	
Freigegeben	30.09.2024	Lir Viktor HA	
Datei	KWPr 2024.09.30 2 00 51 Technischer Bericht Konzessionsprojekt		
Attribute	Bericht --- --- --- ---		

Verteiler

Name	STKZ
Partnerrausschuss Konsortium	
Projektteam	
Bewilligungsbehörden	

Änderungsindex

Revision	Beschreibung	Erstellt	Datum
00	Erstausgabe	Schmid Erich HTE	30.09.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1. Zusammenfassung	4
2. Einleitung	5
3. Grundlagen	5
3.1 Unterlagen und Berichte	5
3.2 Bestehende Kraftwerke	5
3.3 Topografie	7
3.4 Geologie	7
3.5 Hydrologie	7
4. Technisches Projekt	8
4.1 Gesamtkonzept	8
4.2 Wasserfassung Litzirüti	8
4.3 Anschluss KW Litzirüti	8
4.4 Triebwasserweg	9
4.5 Zentrale Pradapunt	14
4.6 Energieableitung	19
4.7 Abschlusskonzept	19
4.8 Materialbewirtschaftungskonzept	20
4.9 Betriebskonzept	22
4.10 Bauprogramm	22
5. Rechtserwerb	24
5.1 Zonenplanung	24
5.2 Richtplanung	24
5.3 Grund und Eigentum	24
6. Umwelt	25
7. Energieproduktion	25
8. Investitionskosten	26
8.1 Kostengrundlagen	26
8.2 Kostenschätzung	26
9. Kennwerte der technischen Auslegung	27
10. Pläne	28
Literaturverzeichnis	29
Abbildungsverzeichnis	30
Tabellenverzeichnis	30

1. Zusammenfassung

Die Plessur wird bereits über drei Kraftwerksstufen zur Stromproduktion genutzt. Das Kraftwerk Litzirüti der Gemeinde Arosa nutzt die Wasserkraft der Plessur zwischen dem Speicher Isel und der Kantonsstrassenbrücke unterhalb Litzirüti. Weiter talabwärts nutzt die Arosa Energie (früher Gemeindekorporation Kraftwerk Lünen - GKL) mit dem KW Lünen eine weitere Gefällsstufe zwischen der Wasserfassung Pradapunt unterhalb von Molinis und der Zentrale Lünen. Als letzte Stufe zwischen dem KW Lünen und der Zentrale Chur-Sand nutzt die Gemeindekorporation Kraftwerk Chur-Sand (GKC) das Wasser. Der Gewässerabschnitt Litzirüti - Pradapunt ist bisher noch ungenutzt.

Deren Ausbau soll basierend auf dem vorliegenden Konzessionsprojekt nun vorgenommen werden.

Das Projektvorhaben umfasst die folgenden Anlageteile:

- Wasserfassung beim KW Litzirüti ab dessen Unterwasserkanal;
- Zuleitung zum Stollenportal Sand auf der orografisch linken Seite der Plessur;
- Triebwasserstollen zwischen den beiden Tunnelportalen «Sand» in Litzirüti und «Calmiez» oberhalb Molinis;
- Erdverlegte Druckleitung von Calmiez nach Pradapunt;
- Neue Zentrale mit einer Maschinengruppe und einer Ausbauwassermenge von 3.0 m³/s, orografisch links der Plessur, unmittelbar neben dem Einlauf zum Umleitstollen des bestehenden Wehres des KW Lünen.

Das KW Pradapunt weist eine Leistung von rund 10 MW und eine mittlere Jahresenergieproduktion von rund 42 GWh auf. Die ermittelten Investitionskosten belaufen sich auf rund 81 Mio. CHF.

Das Kraftwerk ist als reines Schwall/Sunk-Ausleitkraftwerk des Oberlieggers KW Litzirüti der Arosa Energie konzipiert.

Für das Bauvorhaben wird mit einer Realisierungszeit von 3 Jahren gerechnet.

2. Einleitung

Im Juni 2014 gründeten die Gemeindekorporation Kraftwerk Lügen (GKL, heute übergegangen in die Gemeinde Arosa resp. Arosa Energie), die Gemeinde Arosa, die IBC Energie Wasser Chur (IBC) und die Axpo Power AG (Axpo) das Projektkonsortium Wasserkraft Plessur (Konsortium), um gemeinsam den Ausbau der Wasserkraft im Schanfigg mittels einer neuen Kraftwerksstufe Litzirüti - Pradapunt und der Sanierung des Kraftwerks (KW) Lügen voranzutreiben.

Während rund zweier Jahre wurden durch Axpo in Zusammenarbeit mit den Partnern des Konsortiums zwei Konzessionsprojekte unter dem Projektnamen «KW Plessur» ausgearbeitet. Dem Neubauprojekt KW Pradapunt (nachfolgend mit «KP 2016» bezeichnet), welches die Gefällsstrecke zwischen dem bestehenden KW Litzirüti und dem Wehr des KW Lügen in Pradapunt nutzt, wurde in einer Urnenabstimmung im September 2016 in Arosa die Konzession erteilt. Im Dezember 2016 wurde schliesslich auch das Konzessionsgesuch der Gemeinde Arosa für eine Sanierung und einen Ausbau des bestehenden KW Lügen anlässlich einer Gemeindeversammlung durch die Gemeinde Tschierschen-Praden genehmigt. Im Jahr 2017 beschlossen die Parteien jedoch gemeinsam einen Projektunterbruch und verzichteten auf ein Einreichen der beiden Konzessionsgenehmigungsgesuche beim Kanton Graubünden.

Da jedoch beim KW Lügen nach wie vor grösserer Erneuerungsbedarf bestand, nahm Arosa Energie im Jahr 2019 Gespräche am Runden Tisch mit Behörden und Umweltverbänden auf. 2022 wurde der Entscheid gefällt, auf eine Neukonzessionierung zu verzichten und das KW Lügen im Rahmen der bestehenden Konzession zu erneuern. In einer Urnenabstimmung in der Gemeinde Arosa wurde diesem Vorgehen 2022 zugestimmt. Die Baugesuchsunterlagen wurden im Mai 2023 bei den zuständigen Behörden eingereicht. Die Realisierung der Erneuerung ist in den Jahren 2024 bis 2026 geplant.

Aufgrund der im Jahr 2022 verbesserten gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde nun auch das Konsortium wieder aktiv. Gespräche unter den drei Partnern Arosa Energie, IBC und Axpo führten zum Beschluss, das Projekt «Kraftwerk Pradapunt» (KWPr) aus dem Jahr 2016 wieder aufzunehmen.

3. Grundlagen

3.1 Unterlagen und Berichte

Die für das vorliegende Konzessionsprojekt verwendeten Grundlagen und Berichte sind im Literaturverzeichnis im Anhang dieses Berichtes aufgelistet.

3.2 Bestehende Kraftwerke

Die heutige Kraftwerkskaskade an der Plessur besteht aus folgenden Kraftwerken:

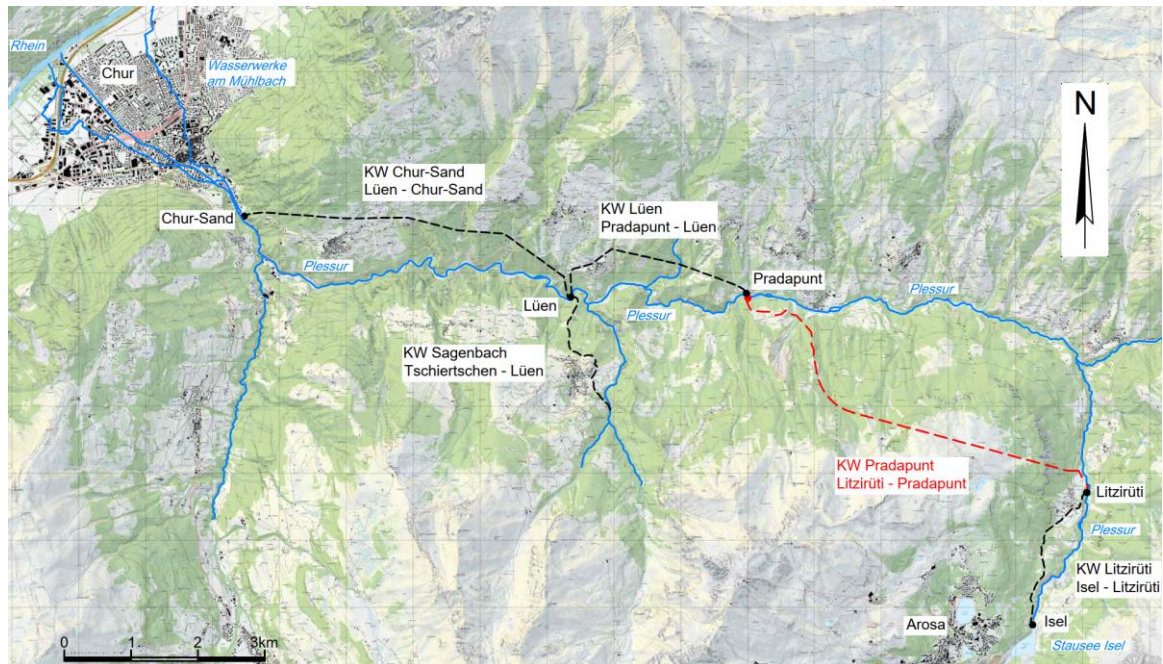


Abb. 3.1 Übersichtsplan Kraftwerke Schanfigg

Kraftwerk Litzirüti:

- Installierte Leistung: 4.7 MW
- Bruttofallhöhe: 210 m
- Jährliche Energieproduktion: rund 21 GWh
- Eigentümer und Betreiber: Arosa Energie

Litzirüti bis Pradapunt (Molinis): Plessur freifliessend (7.4 km lange Fließstrecke mit Bruttofallhöhe von rund 400 m), bislang nicht genutzt

Kraftwerk Lüen:

- Installierte Leistung: 7.0 MW
- Bruttofallhöhe: 216 m
- Jährliche Energieproduktion: rund 44 GWh
- Eigentümer und Betreiber: Arosa Energie

Kraftwerk Sagenbach (Seitengewässer der Plessur):

- Installierte Leistung: 3.1 MW
- Bruttofallhöhe: 516 m
- Jährliche Energieproduktion: rund 11 GWh
- Eigentümer: Kraftwerk Sagenbach AG (KWSa)
- Betreiber: Arosa Energie

Kraftwerk Chur-Sand:

- Installierte Leistung: 9.9 MW
- Bruttofallhöhe: 162 m
- Jährliche Energieproduktion: rund 45 GWh
- Eigentümer: Gemeindekorporation Kraftwerk Chur-Sand (GKC)
- Betreiber: IBC

3.3 Topografie

Das Konzessionsprojekt basiert auf folgenden topografischen Grundlagen:

- Landeskarten (map.geo.admin.ch)
- 2 m Digitales Geländemodell swissALTI3D (geogr.ch)
- Grundbuchpläne
- Vermessungsaufnahmen der Lorenz Beck AG, Langwies, 2009 – 2011
 - o Litzirüti: DTM ganzer Bereich
 - o Druckleitung: DTM ab Strasse Molinis / Tschierschen bis unterhalb Rüfinal
 - o Pradapunt: DTM ganzer Bereich

Gegenüber dem KP 2016 wurden keine zusätzlichen topografischen Aufnahmen gemacht. Für das Bauprojekt müssen die Aufnahmen ergänzt werden.

3.4 Geologie

Das Konzessionsprojekt basiert auf folgenden geologischen Grundlagen:

- Dr. Max Kobel, Büro für Technische Geologie: Ausbau Wasserkräfte im Schanfigg, Plessurstufe Litzirüti – Pradapunt, Genereller geologisch-geotechnischer Bericht zum Konzessionsprojekt und zu Projektvarianten, Bericht Nr. 4059-1, 16. November 1990
- Baugeologie und Geo-Bau-Labor Chur: Kraftwerk Pradapunt / Litzirüti II: Vorprojekt, Geologisch-geotechnische Baugrundbeurteilung, BG 2901, Chur, 31. Januar 2010
- Baugeologie und Geo-Bau-Labor: Vorprojekt KW Plessur, Variantenstudium Stollenführung KW Pradapunt, Geologische Oberflächenbeurteilung von fünf Standorten (Stollenportale / Wasserschlösser), BG 2901-1, Chur, 09. September 2014

Diese Grundlagen aus dem KP 2016 sind für die vorliegende Projektphase genügend. Im Bauprojekt sind zusätzliche geologische Untersuchungen vorzunehmen.

3.5 Hydrologie

Die hydrologischen Grundlagen wurden gegenüber dem KP 2016 aktualisiert und im Restwasserbericht des vorliegenden Konzessionsprojektes dokumentiert (vgl. entsprechende Berichte im Konzessionsdossier).

Im Rahmen der hydrologischen Untersuchungen werden die Abflusszustände folgender drei relevanter Kontrollquerschnitte ausgewertet:

- Plessur – Litzirüti vor WR
- Plessur – Litzirüti nach WR
- Plessur – Langwies nach Einmündung Sapünerbach

4. Technisches Projekt

4.1 Gesamtkonzept

Das neue Kraftwerk besteht aus folgenden Anlageteilen:

- Fassung des Triebwassers des KW Litzirüti, ohne Wasserfassung in der Plessur oder weiteren Bächen; zusätzlich: Bypass des KW Litzirüti ab Druckleitung bis Unterwasserkanal
- Pufferbecken unter dem Vorplatz des KW Litzirüti
- Zuleitung des Triebwassers zum Stollen, inkl. zusätzlicher Kabelschutzrohre
- Portal des Stollens bei Sand
- Triebwasserstollen Sand – Calmiez
- Wasserschloss, Übergang Stollen - Druckleitung, Schieberkammer mit Drosselklappe beim Portal Calmiez
- Portal Calmiez
- Druckleitung Calmiez bis Pradapunt
- Zentrale Pradapunt
- Rückgabe des Triebwassers in den Stauraum KW Lünen
- Energieableitung

Details zu den einzelnen Objekten sind in den nachstehenden Kapiteln beschrieben.

4.2 Wasserfassung Litzirüti

Im Vorprojekt wurde die Nutzung des Zwischeneinzugsgebietes vom Stausee Isel bis zur Zentrale Litzirüti untersucht. Grundsätzlich wäre die Nutzung energetisch sinnvoll und wirtschaftlich. Das Konsortium beschloss zum heutigen Zeitpunkt auf die Nutzung des Zwischeneinzugsgebietes zu verzichten.

4.3 Anschluss KW Litzirüti

Direkt an den Unterwasserkanal der Zentrale Litzirüti wird ein Abzweigbecken mit Überlauf erstellt. Der Überlauf dient zur Sicherstellung des Betriebes des KW Litzirüti, falls das KWPr ausser Betrieb genommen werden muss. Im Anschluss an das Abzweigbecken ist ein Pufferbecken vorgesehen. Die beiden Kraftwerke werden im Tandem-Betrieb gefahren, ein geringer Wasserausgleich zwischen den minimal anderen Turbinenwassermengen der Kraftwerke ist aber trotzdem notwendig. Dies wird mit dem Pufferbecken sichergestellt.

Eine Restwasserdotierung erfolgt ab dem Pufferbecken mittels einer Leitung direkt zur Plessur. Es wird eine Durchflussmessung eingebaut.

Um die Wassermenge in der Plessur aus dem Zwischeneinzugsgebiet Stausee Isel bis Litzirüti messen zu können, muss in der Plessur eine Messstation eingebaut werden. Idealerweise wird diese bei der Brücke der Kantonsstrasse erstellt. Sie muss so gebaut werden, dass eine genaue Wassermengenmessung möglich ist. Falls die in der Plessur gemessene Wassermenge die vorgeschriebene Restwassermenge unterschreitet, kann das fehlende Wasser ab dem Pufferbecken ergänzt werden, sofern das KW Litzirüti in Betrieb ist.

Um die Produktionsverluste gering halten zu können, sind allfällige Abstellungen der Kaskadenkraftwerke aufeinander abzustimmen. Da die Abstellungen aber normalerweise (je nach Unterhaltsbedarf) unterschiedlich lange dauern oder ungeplante Abstellung eines Kraftwerkes auftreten können, wird um die Zentrale Litzirüti ein By-

pass erstellt. Dieser erlaubt die Weiterleitung von Wasser ab der Druckleitung Litzirüti direkt in den Unterwasserkanal respektive in das Pufferbecken. Der Bypass besteht aus einem neuen Hosenrohr in der bestehenden Druckleitung, einem Abschlussorgan, einem erdverlegten 600 mm Rohr von 63 m Länge mit Anschluss an den Unterwasserkanal.

4.4 Triebwasserweg

4.4.1 Allgemeines

Über die ganze Triebwasserlänge sind zwei Leerrohre vorgesehen, welche allenfalls einer späteren Nutzung dienen.

4.4.2 Zuleitung

Die 364 m lange Zuleitung mit Durchmesser 1'200 mm verbindet das KW Litzirüti mit dem oberwasserseitigen Portal Sand des Stollens. Anschliessend an das Pufferbecken wird das Wasser in einer erdverlegten Zuleitung aus Glasfaser verstärktem Kunststoff (GFK) bis zum Stollenportal weitergeleitet. Diese Leitung hat je nach Terrain ein Gefälle von 0.3 – 12 ‰.

Die Unterquerung der Kantonsstrasse erfolgt mittels Pressvortrieb mit Start-/Zielschacht. Der Startschacht wird anschliessend als Teil des Pufferbeckens genutzt.

Aufgrund der anspruchsvollen geologischen Verhältnisse im linksufrigen Bereich entlang der Plessur unterhalb der Kantonsstrasse sowie des dortigen Auenwalds wurden verschiedene Möglichkeiten für die Zuleitung zum Stollen Pradapunt technisch und wirtschaftlich evaluiert. Das gewählte Konzept besteht aus einer linksufrigen Verbindungsleitung zwischen der Zentrale des KW Litzirüti und dem Portal Sand. Parallel zur erdverlegten Zuleitung wird eine Strasse zum Portal Sand erstellt. Im Graben der erdverlegten Zuleitung werden auch Leerrohre und Kabelschutzrohre für die 60 und die 10 kV Leitungsumlegung (vgl. Kapitel 4.8) verlegt. Die Zuleitung hat eine Überdeckung von mindestens 1.0 m.

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Geologie	Alluvionen, Rüfeschutt und Aufschüttungen	
Wasserfassungstyp	Sammelrinne unterhalb UW-Kanal KW Litzirüti	
Ausbauwassermenge (Qa)	3.0	m ³ /s
Wasserspiegel im UW-Kanal des KW Litzirüti	1'397.45	m ü.M.
Stauziel in der Sammelrinne	1'396.20	m ü.M.
Überfallkante in Richtung Plessur (bestehend)	1'396.40	m ü.M.
Pufferbecken, Volumen	400	m ³
Verbindungsleitung KW Litzirüti bis Portal Sand: Material	GFK	
Länge	364	m
Innendurchmesser	1'200	mm

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Gefälle	0.3 – 12	%

Tab. 4.1 Kennwerte Zuleitung

4.4.3 Stollen

Allgemeines

Praktisch der ganze Stollen wird ab dem Portal Sand mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) erstellt. Dementsprechend wird das Ausbruchmaterial auch in Sand anfallen. Der Stollen wird ab dem Portal Sand aufgefahren und weist ein Gefälle von 0.1% auf. Dies ermöglicht einen einfachen Vortrieb und gleichzeitig eine Entwässerung des Stollens während der Erstellung wie auch des Betriebes Richtung Sand.

Der Stollenausbruchdurchmesser wurde mit 3.70 m festgelegt. Der Durchmesser ist hydraulisch überdimensioniert, aus bautechnischer Sicht aber notwendig, damit die Logistik für den Ausbruch (Arbeitsbereich, Abtransport Ausbruchmaterial, Stollenbelüftung) funktioniert. Der bautechnisch notwendige Ausbruchquerschnitt wurde mit einem TBM-Lieferanten diskutiert und festgelegt.

Portal Sand

Aus Gründen der Zugänglichkeit sowie der Installationsmöglichkeiten wird dieser Standort als günstig beurteilt.

Der Zugang führt über eine neue Strasse vom Kraftwerk Litzirüti her und verläuft ähnlich wie die Zuleitung.

Die Lockergesteinsüberdeckung ist relativ lange und es muss ein Rohrschirm erstellt werden. Die RhB-Linie wird mit der vorgesehenen Höhenlage um rund 20 m unterfahren, vorgeschrieben seitens RhB sind 8 m. Diese Vorgabe wird somit klar eingehalten.

Der Zugang in den Stollen wird mittels eines Drucktores sichergestellt.

Direkt unter der Stirn des Stollens wird die Zuleitung in den Stollen eingeführt. Bei der Vertiefung erfolgt auch der Anschluss an die Spüleleitung, mit welcher die Restentleerung des Stollens sowie eine allfällige Reinigung des Stollens ausgeführt werden können. Die Spüleleitung führt über einen Schieberschacht zur Plessur.

Da der Stollen leicht ansteigt, ist eine Entlüftungsleitung beim Portal notwendig, welche Richtung RhB-Linie verlegt wird. Die Oberkante der Leitung ist so gewählt, dass Druckschwankungen im Stollen infolge Änderung der Triebwassermenge auf jeden Fall nicht zu einem Ausströmen von Wasser führen.

Stollen

Die Linienführung berücksichtigt topographische und geologische Randbedingungen wie z.B. die Rungser Rüfi sowie Belange der Baustellenlogistik. Rund 75% des Stollens verläuft gradlinig Richtung Westen. Zum Portal Calmiez erfolgt ein langgezogener Bogen. Es wird davon ausgegangen, dass der Stollen grösstenteils mit Sohlüb- und Spritzbetonsicherung ausgeführt werden kann. Weiterführende Siche-

rungsmassnahmen sind nur, wenn geologisch erforderlich, berücksichtigt. Der lichte Innendurchmesser beträgt aufgrund der minimalen Anforderungen an Ventilation und Baustellenlogistik auf weiten Strecken 3.4 m (max. 15 cm Betonstärke).

Der Stollen hat eine Gesamtlänge von 4'470 m (inkl. der beiden Rohrschirmabschnitte bei den Portalen). Mit dem Sohlgefälle von 0.1% ergibt dies entsprechend ein Höhenunterschied der beiden Endpunkte von 4.47 m. Mit dem Innendurchmesser von 3.4 m weist er somit ein Wasservolumen von rund 40'000 m³ aus. Rund die Hälfte von diesem Volumen (infolge der höheren Lage der Sohlenkote beim Portal Calmiez) könnte für eine bedingte Speicherbewirtschaftung genutzt werden. Allerdings würde dabei infolge der im Gefälle ausgeführten Zuleitung bei Litzirüti das Bruttogefälle um rund 4 m reduziert, weil bei einer Speicherbewirtschaftung als erstes die Zuleitung entleert würde.

Wasserschloss

Das Wasserschloss Calmiez liegt direkt vor dem Übergang vom Stollen in die Druckleitung und wird als Schachtwasserschloss mit einem Innendurchmesser von 3.0 m ausgeführt. An der Oberfläche erlaubt ein Schachtkopfbauwerk den Luftaustausch sowie den Zustieg für Inspektionen. Das Bauwerk wird durch eine unbefestigte Strasse ab dem Portal Calmiez erschlossen. Die Schachthöhe ermöglicht sowohl den Ausbruch mittels Sprengvortrieb wie auch mittels Raisedrill mit anschliessender Aufweitung. Die Stollenabschnitte unterhalb des Wasserschlosses werden mit einer bewehrten Betonverkleidung ausgerüstet, soweit dies die Felsüberdeckung unter Anwendung des Norweger Kriteriums zulässt.

Portal Calmiez

Übergang Stollen / Druckleitung und Schieberkammer

Unterwasserseitig des Wasserschlosses wird der Stollen mittels einer Betonwand abgeschlossen. Auf einer Seite der Wand erfolgt der Übergang vom Stollen in die Druckleitung. Auf der anderen Seite ist ein Zugang mit Drucktüre vorgesehen, welche einerseits ermöglicht, auch vom Portal Calmiez her den Stollen zu betreten und andererseits auch eine genügende Belüftung bei allfälligen Instandhaltungsarbeiten sicherzustellen. Der Übergang wird im Sprengvortrieb ausgeführt, da der Stollenquerschnitt beim TBM-Ausbruch für die Anordnung der Drucktüre und Anschluss Druckleitung geometrisch zu eng ist.

In der anschliessenden Schieberkammer wird eine Sicherheitsdrosselklappe installiert, welche den Zufluss in die Druckleitung bei einer Havarie unterbindet. Sie dient auch dazu, die Druckleitung zu entleeren, ohne dass auch der Stollen entleert werden muss. Die Druckleitung in der Schieberkammer ist aus Stahl vorgesehen und weist einen Durchmesser von DN900 aus, wird also mit einem geringeren Durchmesser wie die Druckleitung, vgl. Kapitel 4.4.4, ausgeführt. Direkt nach der Drosselklappe wird die Leitung mittels eines Konus auf den Durchmesser DN1100 überführt.

Die Hauptdaten des Triebwasserwegs zwischen den Portalstandorten Sand und Calmiez sind wie folgt gegeben:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Geologie		
Portal Sand	Lockergestein (200 bis 250 m)	
Stollen	Nordpenninische Flysche, Falknisdecke (Störzonen); [12] bis [14]	
Portal Calmiez	Lockergestein (10 bis 50 m), Annahme	
Druckstollen:		
Länge	4'470	m
davon Lockergesteinsstrecke	35 / 230	m
Gefälle	0.1	%
Durchmesser innen	3.4	m
Durchmesser aussen (Ausbruch)	3.7	m
Speicherkapazität, ca.	40'000	m ³
für Stromproduktion nutzbar, ca.	20'000	m ³
Wasserschloss:		
Sohlenlage:	1'390.9	m ü.M.
Oberkante Schacht	1'421.0	m ü.M.
Durchmesser innen	3.00	m

Tab. 4.2 Kennwerte Stollen

4.4.4 Druckleitung

Die Druckleitung hat einen Innendurchmesser von 1100 mm und wird auf der ganzen Länge erdverlegt.

Die Druckleitung setzt sich aus verschiedenen Abschnitten zusammen:

- Vom Portal Calmiez erfolgt ein Abschnitt als klassische Fallleitung entlang des bestehenden Trassees des Trinkwasserkraftwerkes bis auf Kote ca. 1'170 m ü.M. Dadurch können die notwendigen Rodungen reduziert werden.
- Ab dieser Kote muss das Trassees des Trinkwasserkraftwerkes verlassen werden und die Leitung führt schräg der Falllinie entlang zum Rungserbach.
- Am Anschluss erfolgt ein mehr oder weniger horizontaler Abschnitt Richtung Westen bis Usser Zana. Der Rungserbach wird mittels einer Rohrbrücke unterwasserseitig der bestehenden Brücke überbrückt. Damit ist sichergestellt, dass die erforderlichen Baggerungen oberwasserseitig der Brücke, infolge des extremen Geschiebeanfalls in diesem Abschnitt, nicht behindert werden.
- Die Wahl des Standortes für die Querung des Rungserbaches hat zur Folge, dass hier ein Tiefpunkt in der Leitung entsteht. Bei der Bachquerung ist deshalb ein Entwässerungsschacht vorgesehen, die Restentleerung der Druckleitung erfolgt dosiert und direkt in den Rungserbach. Die Entleerung der Leitung erfolgt selten: Alle 5 Jahre wird die Leitung inspiziert und muss entleert werden. Weitere Entleerungen erfolgen nur bei Instandstellungen.
- Ab Usser Zana erfolgt eine zweite Fallleitung zum Wehr des KW Lünen und zur neuen Zentrale.

Zum Verlegen der Druckleitung wird ein Graben ausgehoben. Die Überdeckung beträgt im Minimum 1 m, der Rohrgraben ist somit für die in einem 0.2 m mächtigen Bett liegende Druckleitung DN1100 im Minimum 2.3 m tief. Diese Überdeckung gewährleistet die Befahrbarkeit mit Forstwirtschaftsfahrzeugen und eine gute Frostsicherheit. Im Bereich des Stollenportals Calmiez, bei der Rohrbrücke sowie an weiteren dazwischen liegenden Stellen sind zur Aufnahme der Deckelkräfte Fixpunkte aus bewehrtem Beton vorgesehen. Die Druckleitung wird auf den statischen und dynamischen Innenwasserdruck ausgelegt. Expansionsstücke sind einzuplanen.

Für spätere Inspektionen werden im Abstand von ca. 400 m Mannlöcher DN600 angeordnet. Die Druckleitung kann dadurch über ihre gesamte Länge von innen inspiert werden. Alternativ kann der Zustand mit Rohrkameras aufgenommen werden.

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Geologie	Lockergestein [12] bis [14]	
Material	Stahl	
Leitungslänge erdverlegt (Stollen 35; erdverlegt 1861 m) (horizontale Länge)	1'896 (1'764)	m (m)
Leitungsinwendurchmesser	1'100	mm

Tab. 4.3 Kennwerte Druckleitung

4.4.5 Hydraulische Vordimensionierung

Leitungsverluste

Die Leitungsverluste wurden nach Darcy-Weisbach und Colebrook-White berechnet. Die Ergebnisse sind in die Wahl der Durchmesser mittels einer Wirtschaftlichkeitsberechnung eingeflossen.

Objekt	d _{innen} [m]	v [m/s]	H _{Verlust} [m]
Zuleitung Litzirüti	1.20	2.65	1.67
Stollen	3.40	0.33	0.11
Druckleitung	1.10	3.16	13.42
Einzelverluste Annahme 10%			1.52
Druckverlusthöhe, bei Q _a			16.72

Tab. 4.4 Reibungsverluste Triebwassersystem

Die Reibungsverluste betragen gut 4% der Bruttofallhöhe, was gering ist. Dieser geringe Wert ist vor allem durch den hydraulisch überdimensionierten Stollen (der Durchmesser muss aufgrund der Ausführbarkeit so gross gewählt werden) begründet.

Folgende Betriebscharakteristika resultieren aus der Verlustrechnung:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Ausbauwassermenge, Q_a	3.0	m ³ /s
Max. Stauziel	1'396.2	m ü.M.
Niveau Laufradkote Pradapunt	996.2	m ü.M.
Max. Bruttofallhöhe h_{Brutto}	400.0	m
Massgebende Druckverluste bei Q_a	16.7	m
Max. Nettofallhöhe bei Q_a	383.4	m

Tab. 4.5 Betriebscharakteristik

Druckstossberechnung

Der Druckstoss im Triebwassersystem, mit oder ohne Wasserschloss, wurde mit dem Joukowsky-Stoss abgeschätzt. Es zeigte sich, dass ein Wasserschloss beim KWPr aufgrund des zu erwartenden Druckstosses nicht zwingend notwendig ist. Allerdings ist das Regulierverhalten der Maschinengruppe bei einem Verzicht auf ein Wasserschloss ungenügend. Inselbetrieb, aber auch schnelle Regelvorgänge wie Primärregelung usw., können ohne Wasserschloss nicht durchgeführt werden. Aufgrund der durch die speziellen topographischen und geologischen Eigenschaften grossen Länge der Druckleitung, wird ein Wasserschloss empfohlen.

4.5 Zentrale Pradapunt

4.5.1 Allgemeines

Die Zentrale wird oberwasserseitig des heutigen Wehrs linksufrig im Bereich des Umleitstollens angeordnet. Das Maschinenhaus wird in Stahlbeton ausgeführt. Im Erdgeschoss ist der Maschinensaal mit einer vertikalachsigen Pelton-Maschinengruppen von 3.0 m³/s Ausbauwassermenge angeordnet. Die Laufradkote liegt auf 996.20 m ü. M. und somit 1.96 m (Freihang) über dem Maximalstau beim Wehr Lünen.

Für die Zentrale ist eine Pelton-Maschinengruppe vorgesehen.

4.5.2 Zentralengebäude

Die Zentrale wird oberirdisch im Hochbau mit einer Tragkonstruktion aus Stahlbeton mit einem Flachdach erstellt. Sie erstreckt sich über die Parzelle 13126 und hat Ausmassenabmessungen von 19 m auf 15 m. Die geplante Firsthöhe beträgt rund 10 m. Im hinteren Teil wird sie teils zweigeschossig realisiert.

Der Mittelspannungs- und der Hochspannungsraum werden ebenfalls im Erdgeschoss angeordnet, während sich der Niederspannungsraum im ersten Obergeschoss über dem Mittelspannungsraum befindet. Der Kommandoraum im Südteil gewährt direkten Einblick in den Maschinensaal. Die Nebenräume sind auf das Minimum ausgelegt, da vorgesehen ist, dass das Kraftwerk durch Arosa Energie betrieben wird und die Sozialräume beim Wehr des KW Lünen mitgenutzt werden können.

Auf der Westseite des Zentralengebäudes befinden sich das Eingangstor und der Vorplatz, der über die neu zu erstellende Zufahrtsbrücke über das Wehr mit dem LKW erreicht werden kann. Die Grösse des Eingangstors wird so gewählt, dass für den Transport mit einem LKW rückwärts in die Zentrale hineingefahren werden kann. Komponenten können so direkt mit dem Laufkran der Zentrale ab dem Fahrzeug gehoben werden.

Die Zufahrt zur Zentrale führt über den Vorplatz beim Pufferbecken / Entsander der Fassung des KW Lünen. Die Gefällsverhältnisse erfordern eine Anpassung beim Vorplatz, so dass die Höhe der Zufahrtsbrücke über das Wehr erreicht wird. Die Wehrbrücke befindet sich unterwasserseitig der Schützen und ist so hoch angeordnet, dass der Abflussquerschnitt nicht verändert wird.

4.5.3 Unterwasserkanal und Zufluss KW Lünen

Die Rückgabe des Wassers erfolgt direkt in den Stauraum des Wehres Lünen.

4.5.4 Auslegung der elektromechanischen Komponenten

Abschlussorgan

In der Zentrale ist vor der Turbine ein Kugelschieber vorgesehen. Die Druckleitung wird vor dem Kugelschieber verjüngt. Der Kugelschieber wird mittels Schliessgewichten geschlossen:

- Nennweite: DN = 900 [mm]
- Nenndruck: PN = 50 [bar]

Der Kugelschieber verfügt über folgende Elemente:

- Antriebsaggregat
- Schliessmechanismus unabhängig von Fremdenergie
- Bypass mit Energie-Dissipationsorgan

Turbinen

Es wird eine vertikalachsige Pelton-turbine mit den folgenden Kennzahlen eingesetzt:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Turbinentyp	Pelton	
Anzahl Maschinengruppen	1	
Anzahl Düsen	6	
Achsenlage	vertikal	
Niveau Laufradkote	996.2	m ü.M.
Drehzahl	750	U/min
Max. Bruttofallhöhe	400.0	m
Max. Nettofallhöhe	383.4	m
Ausbauwassermenge	3.0	m ³ /s
Ausbauleistung	10.1	MW

Tab. 4.6 Kennwerte Auslegung Peltonturbine

Die Turbinenachse ist auf 996.2 m ü.M. angeordnet. Dies ergibt gegenüber dem maximalen Unterwasserspiegel von 994.24 m ü.M. einen Freihang von 1.96 m. Dieser muss in der nächsten Projektphase, allenfalls in Rücksprache mit einem entsprechenden Turbinenlieferanten, bestätigt werden.

Das Laufrad kann über den Unterwasserkanal inspiziert und demontiert werden. Die dazu erforderlichen Montageöffnungen sind vorgesehen.

Generator und Erregung

Der Generator steht auf dem Turbinengehäuse. Das Turbinenlaufrad wird direkt an die Generatorwelle angeflanscht.

Für die Maschinengruppe ist ein Generator mit den folgenden Kennzahlen vorgesehen:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Typ	Synchrongenerator	
Anzahl Maschinengruppen	1	
Netzfrequenz	50	Hz
Spannungsniveau	10	kV
Leistungsfaktor $\cos\varphi$	0.9	
Drehzahl	750	U/min
Durchbrenndrehzahl	1'350	U/min
Kühlung	Luft-Wasserkühlung	
Leistung S_{Gen} (Scheinleistung)	11.5	MVA
Schwarzstartfähigkeit	nein	
Inselbetrieb	nein	
Phasenschieberbetrieb	nein	

Tab. 4.7 Kennwerte Auslegung Generator

Der Generator soll folgendermassen ausgeführt werden:

- Bürstenlose Erregung (rotierende Dioden);
- Digitaler Spannungsregler;
- Trag- und Führungslager;
- Drehzahlüberwachung (zwei unabhängige Einheiten);
- Temperaturüberwachung Lagerschalen und Lageröl;
- Vibrationsüberwachung;
- Instrumentierung;
- Hilfsgeräte für Montage resp. Demontage.

4.5.5 Auslegung der elektro-technischen Komponenten

Mittelspannungsschaltanlage

Die Mittelspannungsschaltanlage hat eine Nennspannung von 10 kV und eine Isolationsspannung von 24 kV. In der nächsten Projektphase ist mit den Auslegungsdaten der Generatoren und des Transformators resp. der Transformatoren eine Kurzschlussstromberechnung durchzuführen.

Eigenbedarfsversorgung

Die Eigenbedarfsversorgung stellt die Versorgung der elektromechanischen Anlagen in der Zentrale Pradapunt sicher. Die Eigenbedarfsversorgung, die in der nächsten Projektphase dimensioniert wird, besteht aus folgenden Komponenten:

- EB-Transformator
- 400 VAC Verteilung
- Gleichrichter 110 V und 48 V
- Gleichstromverteilungen
- Batterieanlagen, USV 230 VAC

Für die Notversorgung der Zentrale im Falle eines Unterbruchs der 60 kV-Versorgung soll mittels Mittelspannungszelle eine redundante Einspeisung über die 10 kV-Talversorgungsleitung geschaffen werden.

Für die Notversorgung der Zentrale im Falle eines Unterbruchs der 60 kV-Versorgung wird mittels Niederspannungsverbindung zur nahegelegenen Trafostation Pradapunt eine redundante Einspeisung über die 10 kV-Talversorgungsleitung geschaffen. Diese im Rahmen der Wehrerneuerung Pradapunt des KW Lünen im 2026 neu zu erstellende Trafostation ist mit der 10kV Talversorgung verbunden. Diese Trafostation versorgt das Wehr Pradapunt und die zwei nahegelegenen Wohnhäuser und ist Bestandteil des Verteilnetzes der Arosa Energie.

Für die Stromversorgung beim Portal Calmiez wurde ein Leistungsbedarf von rund 10 kW angenommen. Bei über 500 m Länge wird ein Kabelquerschnitt von 50 mm² benötigt, um unter dem geforderten Spannungsfall von 3% (VDE 0100/DIN 18015) zu bleiben. Darum sind von der Zentrale Pradapunt bis zum Portal Calmiez drei Leerrohre DN120 (1x 4 Leiter, 1x LWL, 1x Reserve) vorzusehen.

Die Drucksensoren beim Wasserschloss und im oberen Bereich des Speicherstollens können evtl. über LWL eingebunden werden. Es gilt in einer nächsten Phase die Distanz mit den Kapazitäten des Signalkabels mit 20 mA Übertragung zu überprüfen.

Maschinenschutzkonzept

Die Schutzeinrichtung umfasst die elektrischen und mechanischen Schutzeinrichtungen für die Maschinengruppen, den Transformator und für die Schaltanlagen. Die Schutzeinrichtungen müssen unabhängig von den betrieblichen Einrichtungen für Steuerung und Überwachung funktionieren.

Transformator

Der Transformator wird in einer schachtförmigen Nische bergseits im Freien auf Schienen über einer kiesgefüllten Ölauffangwanne angeordnet und mit einem Zaun

resp. einer Mauer abgetrennt. Es ist ein Transformator mit den folgenden Kennzahlen vorgesehen:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Typ	Ölisoliert	
Bauform/Schaltgruppe	YNd5	
Anzahl	1	
Unterspannung	10	kV
Oberspannung	60	kV
Leistung	11.5	MVA
Kühlung	ONAN oder ONAF	

Tab. 4.8 Kennwerte Auslegung Transformator

4.5.6 Nebenanlagen

Kühlwassersystem

Es ist ein eigenständiges Kühlwassersystem für die Kühlung des Generators, der Lager und des Turbinenreglers vorzusehen. Das Kühlwasser wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Die Rückkühlung erfolgt im Unterwasserkanal durch Oberflächenwärmetauscher.

Heizung/Lüftung/Klimatechnik

Zur Nutzung der Generatorabwärme für das Heizen der Luft im Maschinensaal wird ein Lüftungsgerät eingesetzt. Das Lüftungsgerät soll Aussen- und Umluft filtern, mit der Generatorabwärme temperieren (Wärmetauscher) und in den Maschinensaal führen.

Löschanlagen

Die Generatoren sollen mit einer Löschanlage geschützt werden. Für den Generator ist eine Einbereichslöschanlage vorgesehen. Die Kühlung des Generators ist mit Luft-Wasser-Kühlern vorgesehen, das heisst mit einem geschlossenen Luftkreislauf. Im Brandfall soll dieser Luftraum mit einem Löschgas geflutet, und damit die Sauerstoffkonzentration reduziert werden. Als Löschgas soll ein nichtverflüssigtes Inertgas (Stickstoff oder Gemisch aus Stickstoff und Argon) eingesetzt werden. Diese Löschgase sind umweltverträglich und für den Menschen ungefährlich.

Maschinensaalkran

Zum Einbau der schweren Komponenten sowie für den Betrieb und Unterhalt der Anlage ist ein Kran mit folgenden Kennzahlen vorgesehen:

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Typ	Zweitträgerkran mit Laufkatze	
Hubkapazität	50	t

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Spannweite der Brücke	ca. 9	m
Schienenlänge	ca. 19	m
Max. Hubhöhe	ca. 12	m

Tab. 4.9 Kennwerte Auslegung Hallenkran

Datenübertragung und Kommunikation

Die Datenübertragung zwischen den Zentralen Pradapunt und Litzirüti wird mit neuen LWL-Kabeln erfolgen. Zwischen der Zentrale Pradapunt und Portal Calmiez sowie in der Zuleitung wird die Verlegung im Rohr erfolgen. Im Rohrstollen wird die Verlegung in einem Rohr im Sohl tubing erfolgen.

4.5.7 Bauvorgang und Erschliessung

Gegenüber dem bewilligten Umbauprojekt des KW Lünen muss die Zufahrt angepasst werden. Die Zufahrt erfolgt über den Vorplatz des Betriebsgebäudes vom Wehr Lünen zu einer Brücke, welche auf die Wehrpfeiler abstützt. Der Vorplatz wird im Zusammenhang mit dem Erneuerungsprojekt des KW Lünen angepasst und für die Zufahrt zur neuen Zentrale ausgelegt.

Die elektromechanischen Anlagen werden via RhB und LKW in die Zentrale Pradapunt transportiert. Mit dem Kran im Maschinensaal wird der Generator montiert und eingesetzt. Am Schluss wird das Turbinenrad vom Unterwasserkanal her auf das Generatorwellenende montiert. Der antransportierte Transformator wird mittels Autokran ab dem LKW gehoben und dann über Schienen in die Transformatornische im Aussenbereich der Zentrale geschoben.

Die bestehende Zufahrtstrasse zur Zentrale Pradapunt wird bereits für die Erneuerung des Wehres vom KW Lünen über eine Länge von ca. 800 m auf eine Breite von 4 m ausgebaut und muss den Anforderungen für den Schwertransport genügen.

4.6 Energieableitung

Die Energieableitung der Zentrale Pradapunt erfolgt über eine neu zu erstellende HS-Kabelverbindung auf den bestehenden Mast 45 der 60 kV-Talversorgungsleitung von Arosa Energie. Diese Leitung muss zwecks Einbindung der Zentrale Pradapunt aufgetrennt werden. Die zwei neuen Kabel ($3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$) werden von der Zentrale über die Brücke bis zum Mast 45 im Erdboden verlegt. Entsprechende Grabenarbeiten mit Erstellung von Rohrblöcken sind dazu auf einer Länge von ca. 320 m notwendig. Am Mast müssen die beiden Kabel auf die Höhe der vorhandenen Freileitung gezogen werden. Ein Kabel wird mit der Leitung in Richtung Lünen und das andere mit der Leitung in Richtung Arosa verbunden. Der Mast wird mit Aufstiegen und Konsolen ergänzt.

4.7 Abschlusskonzept

Im Bereich der Zentrale Litzirüti sind folgende Abschlussorgane vorgesehen:

- Bypass-Anschluss bei der Druckleitung Litzirüti, Drosselklappe oder Ringkolbenschieber;

- Schieber zwischen bestehendem Unterwasserkanal und Abzweigbecken, so dass das KW Litzirüti wie bis anhin betrieben werden kann;
- Rollschieber zwischen Pufferbecken und Zuleitung.

Beim Portal Sand sind im Triebwasserweg keine Abschlussorgane vorgesehen. Zur Restentleerung des Systems ist eine Spülleitung mit einem Entleerungsschieber vorgesehen. Das Wasser wird direkt in die Plessur geleitet.

Zwischen dem Stollen und der Druckleitung ist eine Sicherheitsdrosselklappe vorgesehen, welche bei einer unerwarteten Erhöhung der Wassergeschwindigkeit in der Druckleitung automatisch schliesst. Mit der Drosselklappe kann auch die Druckleitung vom Stollen abgeschottet werden, so dass die Druckleitung entleert werden kann, ohne dass auch der Stollen entleert werden muss.

Die Druckleitung selbst weist einen Tiefpunkt bei der Brücke beim Rungserbach auf. Hier wird für die Restentleerung ein Schieberschacht angeordnet und das Wasser wird direkt in den Bach geleitet.

Bei der Zentrale ist vor der Turbine ein Kugelschieber angeordnet.

Die Wasserrückgabe wird mit einem Rechen ausgerüstet. Der Rechen kann auch durch Dammbalken ersetzt werden, so dass der Turbinenschacht trockengelegt werden kann.

4.8 Materialbewirtschaftungskonzept

Beim Bau des Kraftwerks fallen, infolge Aushub sowie den Untertagbauarbeiten, Erd- und Felsmaterial an, welches nur teilweise direkt wiederverwendet werden kann. Das Überschussmaterial muss somit endgelagert werden.

Durch den langen Stollen fallen die Überschussmaterialien in zwei verschiedenen Gebieten an: im Raum Sand (inkl. Stollenausbruch) sowie im Raum Pradapunt (Portal Calmiez bis Pradapunt).

Nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die anfallenden Volumina im Raum Sand an:

Material	Volumen	[m ³]
Aushub / Ausbruch	53'000	fest
Wiederverwertung	14'000	fest
Abtransport	87'000	lose
Endlager	71'000	fest
Lieferung	2'000	fest

Tab. 4.10 Materialbilanz Raum Sand

Im Raum Sand fällt praktisch der ganze Ausbruch aus dem Stollen an und weist deshalb das grösste Überschussvolumen aus. Das Material aus der Zuleitung sowie dem Anschluss an den Unterwasserkanal des KW Litzirüti kann grösstenteils direkt wiederverwendet werden.

Die Auskleidung des Stollens erfolgt grösstenteils mittels Spritzbeton. Es ist deshalb vorgesehen, ein Teil des Überschussmaterials für die Betonherstellung zu verwenden und so das notwendige Endlagervolumen zu reduzieren. Weitere Nutzungsmöglichkeiten in Sand sind keine vorhanden und das Material muss endgelagert werden. Da der Ausbruch des Stollens mittels einer Tunnelbohrmaschine erfolgt, ist das Material unbelastet und es sind deshalb keine besonderen Massnahmen beim Endlager notwendig.

Innerhalb des vorliegenden Projektes kann das Überschussmaterial nicht verwertet werden. Sofern bei einem Drittprojekt das Material verwendet werden kann, so wird dies genutzt. Ob ein solches Projekt mit Synergiepotential gefunden wird und zeitlich auch stimmt, kann erst zu einem späteren Zeitpunkt geklärt werden.

Als Endlagerstandort wird die Wiese westlich der Zuleitung / südlich des Portals Sand vorgesehen. Das mitten in der Wiese stehende Maiensäss muss zurückgebaut werden, die anderen Gebäude werden belassen. Die Stromleitungen (60 und 10 kV) der Arosa Energie in diesem Gebiet werden entfernt und erdverlegt.

Die Stärke der Hauptschüttung ist bis zu rund 4 m hoch, im Randbereich erfolgt ein Übergang zum anstehenden, unveränderten Gelände, so dass die Schüttung sich gut in die Umgebung einfügt. Ein Grossteil des Gebietes kann nach der Realisierung wieder bewirtschaftet werden.

Nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die anfallenden Volumina im Raum Pradapunt an:

Material	Volumen	[m ³]
Aushub / Ausbruch	39'000	fest
Wiederverwertung	28'000	fest
Abtransport	19'000	lose
Endlager	13'000	fest
Lieferung	1'000	fest

Tab. 4.11 Materialbilanz Raum Calmiez-Pradapunt

Beim Portal Calmiez fällt Material aus dem Voreinschnitt, dem Rohrschirm im Lockergestein und der Zufahrten (Portal und Wasserschloss) an. Dieses Material ist weitgehend unbelastet. Ein geringes Volumen kann wieder vor Ort für Geländeanpassungen verwendet werden, der grösste Teil muss aber abtransportiert und endgelagert werden.

Zwischen dem Rohrschirm und dem Hauptstollen sowie beim Wasserschloss erfolgt der Felsausbruch mittels Sprengvortrieb. Das Ausbruchmaterial wird entsprechend belastet sein und muss in eine Inertstoffdeponie geführt werden.

Auf dem Trasse der Druckleitung wird das Material grösstenteils wieder für die Eindeckung der Leitung verwendet. Das geringe Überschussmaterial kann allenfalls für lokale Anpassungen genutzt werden, ansonsten muss es ebenfalls in ein Endlager geführt werden.

Bei der Zentrale Pradapunt fällt infolge der engen Platzverhältnisse relativ viel Material wegen dem Einschnitt für die Zentrale an. Vor Ort sind praktisch keine Möglichkeiten für eine Lagerung vorhanden und der grösste Teil muss deshalb in ein Endlager abgeführt werden. Das Material wird beim Aushub/Ausbruch nicht verschmutzt.

Als Endlagerstandort ist für das Material im Abschnitt Calmiez bis Pradapunt die Wie- se bei Inner Zana vorgesehen. Hier ist genügend Platz vorhanden und neben den reinen Aufschüttungen können auch sinnvolle Geländeanpassungen vorgenommen werden. Die Transportdistanz vom Portal Calmiez resp. der Zentrale Pradapunt be- tragen rund 2.3 km.

4.9 Betriebskonzept

Beim KW Pradapunt handelt es sich um ein Ausleitkraftwerk nach dem KW Litzirüti. Das Triebwasser wird direkt aus dem Unterwasserkanal des KW Litzirüti gefasst. Die Schwall/Sunk-Belastung im Unterlauf des KW Litzirüti wird somit eliminiert. Beim Standort Litzirüti wird nur noch im Falle einer Ausserbetriebnahme des KW Pradapunt Wasser in die Plessur abgegeben.

Durch den Bypass-Anschluss bei der Druckleitung des KW Litzirüti kann bei einer Ausserbetriebnahme von diesem und einem anstehenden Überlauf im Stausee Isel das Wasser in das System des KW Pradapunt geleitet werden.

Es wird kein zusätzliches Wasser gefasst, weder beim Standort Litzirüti noch bei ei- nem anderen Zufluss zur Plessur.

Der Betrieb wird im Tandem gefahren. Das heisst, wenn in Litzirüti produziert wird, wird dieses Wasser direkt auch im KW Pradapunt verarbeitet.

Der neue Stollen könnte grundsätzlich auch als Speicherstollen genutzt werden. Dadurch würde aber das nutzbare Gefälle leicht reduziert und Luft in den Stollen ge- langen.

Schnelle Lastwechsel beim Kraftwerk sind – sofern das Triebwassersystem mit einem Wasserschloss ausgerüstet ist - grundsätzlich möglich, aber nicht sinnvoll. Die Kraft- werke Litzirüti, Pradapunt und Lünen werden im Kaskadenbetrieb gefahren. Die Triebwassermenge muss deshalb ähnlich gefahren werden. Das Kraftwerk wird über die zentrale Leitstelle des Betreibers gesteuert.

In der Eigenschaft des Ausleitkraftwerks liegt ein reduzierter Unterhaltsaufwand, da Hochwasser-, Geschwemmsel- und Sedimentproblematik wegfallen. Komponenten- spezifische Unterhaltsarbeiten, regelmässige Kontrollen resp. Inspektionen und von Spezialisten angeordnete Erhaltungsmassnahmen sind durchzuführen.

4.10 Bauprogramm

Da noch kein zeitlicher Projektrahmen definiert ist, sind der Bauablauf und die Bau- zeit relativ zum Baubeginn dargestellt. Als Baustart wurde der 01.04.2028 ange- nommen.

Viele Arbeiten sind zumindest teilweise unabhängig von der Witterung ausführbar. Das Bauprogramm muss bei Bekanntgabe des Baubeginns auf die jahreszeitlichen Gegebenheiten abgestimmt werden. Der angenommene Beginn im Frühling erlaubt die Vorbereitungsarbeiten an den verschiedenen Baustellen unabhängig von der Win- terzeit umzusetzen.

Die Realisierung der Kraftwerksstufe Pradapunt kann während knapp **drei Jahren** erfolgen. In Abb. 4.1 ist das vereinfachte Bauprogramm pro Objekt dargestellt.

Tätigkeit	Jahr / Quartal		Start	Ende	Dauer [M]	2028				2029				2030			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Zuleitung Litzirüti			01.04.2029	31.05.2030	14												
Hauptstollen / Portal Sand			01.04.2028	31.08.2030	29												
Portal Calmiez			01.04.2029	31.08.2030	17												
Druckleitung			01.05.2029	31.05.2030	13												
Zentrale			01.04.2028	31.10.2030	31												
Energieableitung			01.08.2029	30.09.2029	2												

Abb. 4.1 Vereinfachtes Bauprogramm

Die terminkritischen Arbeiten sind beim Druckstollen inkl. Portal Sand. Sie müssen deshalb forciert werden. Bevor mit dem Vortrieb begonnen werden kann, sind die Vorbereitungsarbeiten, die Erschliessung, das Portal sowie die Montage der Tunnelbohrmaschine auszuführen. Diese Arbeiten benötigen rund 1 Jahr. Die Ausbrucharbeiten erfolgen anschliessend und teilweise im Winter, was entsprechende Massnahmen bei der Materialaufbereitung und Endlagerung benötigt. Auch der Ausbruch dauert rund ein Jahr.

Ebenfalls zu Beginn wird mit den Arbeiten an der Zentrale angefangen. Die Erstellung des Voreinschnittes respektive der Baugrube für die Zentrale müssen seriell ausgeführt werden. Die Zentrale selbst kann in relativ kurzer Zeit erstellt werden. Nach dem Rohbau erfolgen die Montagen der Elektromechanischen, Elektrotechnischen Ausrüstungen sowie der Innenausbau und die Haustechnik. Gegenüber dem Stollen ergeben sich rund 3 Monate Reserve, so dass ein allfälliger Verzug keine Auswirkungen hätte.

Die anderen Objekte (Anschluss KW Litzirüti/Zuleitung; Portal Calmiez, Druckleitung; Energieableitung) werden erst im 2. Baujahr gestartet. Und können praktisch innerhalb eines Sommerhalbjahres ausgeführt werden. Für die Druckleitung sind zwei unabhängige Arbeitsgruppen vorgesehen.

Nach dem Durchbruch des Stollens ist der Übergang Stollen / Portal auszuführen, das System kann gefüllt und die Nass-Inbetriebnahme umgesetzt werden.

Für den Bau des KW Pradapunt ist lediglich eine kurze Ausserbetriebnahme des KW Litzirüti von rund einem Monat beim Anschluss der Sammelrinne der Zuleitung an den bestehenden Unterwasserkanal der Zentrale nötig. Das Einsetzen des Hosenrohrs für den Bypass benötigt ebenfalls rund einen Monat und sollte gleichzeitig ausgeführt werden.

Die Zentrale Pradapunt kann ohne grössere Betriebsunterbrüche des KW Luen realisiert werden.

5. Rechtserwerb

5.1 Zonenplanung

Alle Anlagenteile des Kraftwerks Pradapunt liegen ausserhalb der Bauzone. Gemäss Art. 58 BWRG entscheidet die Regierung des Kantons Graubünden im Rahmen der Projektgenehmigung über die für die Verwirklichung notwendigen Bau- und Ausnahmebewilligungen nach Raumplanungsgesetz. Eine Einzonung der von der Projektrealisation betroffenen Areale ist demnach nicht notwendig.

5.2 Richtplanung

Im geltenden, vom Bundesrat genehmigten, kantonalen Richtplan ist das Ausbauprojekt «Kraftwerk Pradapunt» nicht enthalten. Für die Realisierung des Projekts ist jedoch eine Richtplanfestsetzung erforderlich.

Das Kapitel 7.1 «Energie» des kantonalen Richtplans befindet sich derzeit bei den kantonalen und eidgenössischen Behörden in Anpassung und soll 2025 in Kraft treten.

Das Richtplandossier zum KW Pradapunt mit der durchgeführten räumlichen Abklärung und Interessensabwägung für die Festsetzung im Richtplan wurde im Januar 2024 beim Amt für Energie und Verkehr und beim Amt für Raumentwicklung des Kantons Graubünden eingereicht und soll in den Beschluss des Regierungsrates integriert werden.

5.3 Grund und Eigentum

Für die Erstellung der nachstehenden Bauteile des KW Pradapunt ist die Einholung von Rechten bei den betroffenen Grundeigentümern erforderlich:

- Verbindungsleitung KW Litzirüti – Stollenportal Sand
- Stollenportal Sand
- Wasserschloss und Stollenportal Calmiez
- Erdverlegte Druckleitung Calmiez – Zentrale Pradapunt
- Zentrale Pradapunt
- Energieableitung
- Materialablagerungen im Gebiet Sand
- Materialablagerungen im Gebiet Inner Zana

Für den Stollen ist kein Erwerb von Durchleitungsrechten erforderlich, da kein rechtliches Interesse am Berginnern durch die Grundeigentümer besteht, resp. nicht nachgewiesen werden kann (Art 667 Abs. 1 ZGB).

Parzellen, welche sich im Eigentum der Politischen Gemeinde Arosa befinden, werden im Rahmen der Konzessionserteilung unentgeltlich für das Projekt zur Verfügung gestellt. Nach Konzessionserteilung wird mit der Gemeinde Arosa und Arosa Energie festgelegt, ob für die einzelnen Anlagenteile trotzdem ein Rechtserwerb (Durchleitungsrecht, Baurecht etc.) erfolgen soll.

Mit den betroffenen privaten Grundeigentümern ist der Abschluss von Grundsatzvereinbarungen im Gang. Die Vereinbarungen regeln Kauf, Baurechte und/oder Durchleitungsrechte sowie deren Entschädigungen.

Der Eintrag der Verträge im Grundbuch erfolgt in Absprache mit dem Grundbuchamt nach getroffener Realisierungsentscheid resp. nach Abschluss der Realisierung.

6. Umwelt

Da die geplante installierte Leistung des neuen Kraftwerks über drei MW liegt, untersteht das Projekt der formellen Umweltverträglichkeitsprüfungspflicht nach Art. 10a des Umweltschutzgesetzes (USG) und der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV).

Nebst der Planung der baulichen Massnahmen sind gemäss der gültigen Gesetzgebung auch die Umweltauswirkungen der neuen Anlagen in der Betriebsphase zu beurteilen. Dies erfolgt im Umweltverträglichkeitsbericht (UVB), 1. Stufe, welcher integrierender Bestandteil des Konzessionsprojektes ist. Im UVB 1. Stufe werden auch verschiedene, mögliche Ersatzmassnahmen für den Eingriff definiert, die im Rahmen des Kraftwerkbaus zu realisieren sind.

Die Behörden benötigen für die Bewilligung einer Wasserentnahme einen Restwasserbericht mit Informationen, welche ihr erlauben zu beurteilen, ob das Projekt des Gesuchstellers die Vorschriften des Gesetzes einhält. Die Pflicht zur Erstellung eines Restwasserberichtes ergibt sich aus Art. 33 Abs. 4 des Gewässerschutzgesetzes des Bundes (GSchG), unabhängig davon, ob ein Projekt der Pflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegt. Der Restwasserbericht ist neben dem UVB 1. Stufe ebenfalls integrierender Bestandteil des Konzessionsprojektes.

Durch die Auslegung des KW Pradapunt als reines Schwall/Sunk-Ausleitkraftwerk des KW Litzirüti können die negativen Einflüsse von Schwall/Sunk im Abschnitt zwischen Litzirüti und Pradapunt eliminiert werden.

7. Energieproduktion

Die Berechnung der Energieproduktion erfolgte unter Berücksichtigung folgender Punkte:

- Hydrologie: Betriebswasser KW Litzirüti gemäss Produktionsstatistik
- Ausbauwassermenge: 3 m³/s
- Restwasser gemäss Restwasserbericht
- Gefällsverhältnisse: Bruttofallhöhe von 400 m
- Hydraulische Verluste Triebwassersystem
- Wirkungsgrad Maschinengruppe

Mit den obigen Daten wird eine jährliche Energieproduktion von rund 42 GWh erwartet, wobei 72% im Sommer- und 28% im Winterhalbjahr anfallen.

8. Investitionskosten

8.1 Kostengrundlagen

Die Schätzung der Baukosten ist der Planungsphase entsprechend mit einer Genauigkeit von +/-20% angegeben.

Für die Bestimmung der Einheitspreise wurden Erfahrungswerte erstellter resp. ausgeschriebenener Projekte in der Schweiz sowie Richtofferten von Herstellern und Unternehmen berücksichtigt.

Der Stichtag für die Kostenschätzung ist der Dezember 2023.

Die Kosten setzen sich einerseits aus den direkten Baukosten sowie aus Kosten für Finanzierung, Allgemeines, Projekt- und Bauleitung und Unvorhergesehenes zusammen. Für die direkten Baukosten wurden für jedes Anlageteil die Kosten für bauliche Anlagen, Stahlwasserbau, Maschinengruppen, Elektro- und Leittechnik und Haustechnik geschätzt. Die Kosten für Allgemeines (Erwerb und Rechte von Grundstücken, Bewilligungen, Gebühren, Auflagen, Öffentlichkeitsarbeit, Umweltersatzmassnahmen, Versicherungen, Eigenleistungen Bauherr) sowie Projekt- und Bauleitung wurden ebenfalls aufgrund von Erfahrungswerten bestimmt.

8.2 Kostenschätzung

Die Gesamtkostenschätzung präsentiert sich wie folgt:

Pos. Bezeichnung			Kosten [CHF], exkl. MWST, gerundet
S1	Investitionskosten	= Pos. 000 ... 999	80'660'000
S2	Anlagekosten	= Pos. 100 ... 999	77'660'000
S3	Allgemeine Kosten	= Pos. 100 ... 299	9'990'000
S4	Baukosten	= Pos. 300 ... 999	67'670'000
000	Finanzierungskosten		3'000'000
100	Allgemeine Kosten		5'390'000
200	Projekt- und Bauleitung		4'600'000
300	Bauliche Anlagen		45'740'000
400	Stahlwasserbau		8'060'000
500	Maschinengruppen		5'750'000
600	Elektro-/Leittechnik		1'880'000
700	Haustechnik		80'000
	Direkte Baukosten	= Pos. 300 ... 700	61'510'000
900	Unvorhergesehenes (10% auf Direkte Baukosten)		6'160'000

Tab. 8.1 Gesamtkostenschätzung

9. Kennwerte der technischen Auslegung

Aus nachstehender Tabelle sind die wichtigsten Kenngrössen der verschiedenen Objekte ersichtlich (weitere Kenngrössen sind in den entsprechenden Kapiteln aufgeführt):

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Zuleitung KW Litzirüti Stollen		
Wasserfassungstyp	Sammelrinne unterhalb UW-Kanal KW Litzirüti	
Pufferbecken, Volumen	400	m ³
Material	GFK	
Länge	364	m
Innendurchmesser	1'200	mm
Gefälle	0.3 – 12	%
Druckstollen		
Länge	4'470	m
davon Lockergesteinsstrecke	35 / 230	m
Gefälle	0.1	%
Durchmesser innen	3.4	m
Durchmesser aussen (Ausbruch)	3.7	m
Speicherkapazität, ca.	40'000	m ³
für Stromproduktion nutzbar, ca.	20'000	m ³
Wasserschloss		
Sohlenlage:	1'390.9	m ü.M.
Oberkante Schacht	1'421.0	m ü.M.
Durchmesser innen	3.00	m
Druckleitung		
Material	Stahl	
Leitungslänge (Stollen 35; erdverlegt 1861 m) (horizontale Länge)	1'896 (1'764)	m (m)
Leitungsinndurchmesser	1'100	mm
Zentrale		
Turbinentyp	Pelton	
Anzahl Maschinengruppen	1	
Anzahl Düsen	6	
Achsenlage	vertikal	
Niveau Laufradkote	996.2	m ü.M.
Max. Bruttofallhöhe	400.0	m

Kenngrösse	Kennwert	Einheit
Max. Nettofallhöhe	383.4	m
Ausbauwassermenge	3.0	m ³ /s
Ausbauleistung	10.1	MW

Tab. 9.1 Kennwerte Gesamtprojekt

10. Pläne

Das Konzessionsprojekt wurde mittels folgender Pläne dokumentiert:

- AXH000434 Gesamtübersicht
- AXH000435 Zuleitung Litzirüti - Situation
- AXH000436 Zuleitung Litzirüti - Situation Orthophoto
- AXH000437 Zuleitung Litzirüti - Schnitte A - A, B - B, C - C
- AXH000438 Stollen Pradapunt Übersicht - Situation, Längenprofil, Normalprofile
- AXH000439 Portal Sand - Situation, Schnitte A - A, Querschnitte B - B, C - C
- AXH000440 Wasserschloss - Situation - Schnitte A - A und B - B
- AXH000441 Übergang Rohrstollen - Grundriss, Schnitte A - A bis E - E
- AXH000442 Portal Calmiez - Situation, Schnitte A - A, Querschnitte B - B, C - C
- AXH000443 Druckleitung Zentrale Pradapunt - Situation 1
- AXH000444 Druckleitung Zentrale Pradapunt - Situation 2
- AXH000445 Druckleitung Zentrale Pradapunt - Situation 1, Orthofoto
- AXH000446 Druckleitung Zentrale Pradapunt - Situation 2, Orthofoto
- AXH000447 Zentrale und Wehr KW Pradapunt Situation
- AXH000448 Zentrale und Wehr KW Pradapunt Schnitte
- AXH000449 Zuleitung Litzirüti, temporär / permanent, beanspruchte Flächen - Situation
- AXH000450 Druckleitung, Portal Calmiez bis Zentrale Pradapunt, temporär / permanent beanspruchte Flächen - Situation

Literaturverzeichnis

KW Plessur:

- [1] Konzessionsprojekt KW Pradapunt: Dossier mit technischem Bericht und Plänen, Feb. 2016
- [2] Konzessionsprojekt KW Lünen: Dossier mit technischem Bericht und Plänen, Feb. 2016
- [3] Konzessionsprojekte KW Pradapunt / KW Lünen: Dossier Umwelt, Feb. 2016
- [4] KW Plessur, Kostenvoranschlag, Bericht H 16161, Axpo Power AG, 2. Feb. 2016
- [5] KW Plessur, Variantenstudium, Pöyry/IG PEB, 24. Oktober 2014, Version 1.0

KW Litzirüti:

- [6] KW Litzirüti: Diverse Pläne best. Kraftwerk der Arosa Energie

KW Lünen:

- [7] Diverse Pläne bestehendes Kraftwerk der Arosa Energie
- [8] Erneuerung Wehr Pradapunt, Bauprojekt, entegra ag, Dezember 2022: Technischer Bericht und diverse Pläne
- [9] Spülkonzept einer einmaligen Spülung des Stauraums Pradapunt, Bewilligungsgesuch, Bericht H 18150, Axpo Power AG, 19. Oktober 2022
- [10] Konzeptskizzen entegra ag im Rahmen Prüfung Vereinbarkeit Bauprojekt Lünen und Vorprojekt KW Pradapunt, E-Mail N. Gadiant (entegra) vom 18.01.2023

Topographische Aufnahmen:

- [11] Vermessungsaufnahmen Lorenz Beck AG, Langwies, 2009 bis 2011 (vgl. GPA 13-28)

Geologie:

- [12] Vorprojekt KW Plessur, Variantenstudium Stollenführung KW Pradapunt, Geologische Oberflächenbeurteilung von fünf Standorten (Stollenportale / Wasserschlösser), Baugeologie und Geo-Bau-Labor AG, 9. September 2014
- [13] STUDIENKONSORTIUM SCHANFIGG: Kraftwerk Pradapunt / Litzirüti II: Vorprojekt, Geologisch-geotechnische Baugrundbeurteilung, Baugeologie und Geo-Bau-Labor Chur, 31.1.2010 BG 2901
- [14] Dr. Max Kobel, Büro für Technische Geologie: Ausbau Wasserkräfte im Schanfigg, Plessurstufe Litzirüti – Pradapunt, Genereller geologisch-geotechnischer Bericht zum Konzessionsprojekt und zu Projektvarianten, Bericht Nr. 4059-1, 16. November 1990

Zwischenphase «Zukunft Wasserkraft Schanfigg» vom März 2011:

- [15] Diverse Berichte und Pläne Ingenieurbüro Brüniger + Co. AG
- [16] Fachbericht Hydrologie, Bericht H 14150, Axpo AG, 22. November 2010
- [17] Entwurf Restwasserbericht, Bericht H 14305, Axpo AG, 21. Juli 2011

Vorprojekt KW Pradapunt vom Feb. 2010:

- [18] Diverse Berichte und Pläne, Ingenieurbüro Brüniger + Co. AG

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Übersichtsplan Kraftwerke Schanfigg	6
Abb. 4.1	Vereinfachtes Bauprogramm	23

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Kennwerte Zuleitung	10
Tab. 4.2	Kennwerte Stollen	12
Tab. 4.3	Kennwerte Druckleitung	13
Tab. 4.4	Reibungsverluste Triebwassersystem	13
Tab. 4.5	Betriebscharakteristik	14
Tab. 4.6	Kennwerte Auslegung Peltonturbine	16
Tab. 4.7	Kennwerte Auslegung Generator	16
Tab. 4.8	Kennwerte Auslegung Transformator	18
Tab. 4.9	Kennwerte Auslegung Hallenkran	19
Tab. 4.10	Materialbilanz Raum Sand	20
Tab. 4.11	Materialbilanz Raum Calmiez-Pradapunt	21
Tab. 8.1	Gesamtkostenschätzung	26
Tab. 9.1	Kennwerte Gesamtprojekt	28