



CHILE

Produktion und Einsatz von grünem Wasserstoff im Bergbausektor in Chile

Zielmarktanalyse 2023 mit Profilen der Marktakteure

www.german-energy-solutions.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Titelbild
Quelle: iStock

Impressum

Herausgeber
Deutsch-Chilenische Industrie- und Handelskammer
Avenida El Bosque Norte 0440, Of. 601
Las Condes, Santiago de Chile
Chile
Tel.: (+56) 2-2203 5320
Fax: (+56) 2- 2203 5325
E-Mail: chileinfo@ahkchile.cl
Web: www.chile.ahk.de

Kontaktperson
Christoph Meyer

Stand
29.11.2022

Gestaltung und Produktion
AHK Chile

Bildnachweis
AHK Chile

Autoren und Redaktion
Christoph Meyer cmeyer@ahkchile.cl
Constanza Altamirano caltamirano@ahkchile.cl
Sophie Hoheisel shoheisel@ahkchile.cl

Disclaimer

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers. Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet der Herausgeber nicht, sofern ihm nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

Chile im November 2022

Abkürzungsverzeichnis

A.G.	Fachverband oder Branchenvereinigung	Asociación Gremial
ACERA	Chilenischer Verband für erneuerbare Energien und Speicherung	Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento
AFP	Privater Rentenfonds im chilenischen Rentensystem	Administradoras de fondos de pensiones de Chile
AgenciaSE	Agentur für energetische Nachhaltigkeit (Energieagentur)	Agencia de Sostenibilidad Energética
AHK	Auslandshandelskammer	
AME	Chilenisches Bergbau- und Energieunternehmen Andes Mining & Energy	Andes Mining & Energy
BICE	Chilenische Bank	Banco Industrial y de Comercio Exterior
BIP	Bruttoinlandsprodukt	
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz	
bzw.	beziehungsweise	
CSET		Center for Solar Energy Technologies
CFT	Chilenisches Ausbildungszentrum für technische Berufe	Centro de Formación Técnica
CLP	Chilenischer Peso	Chilean Peso
CO₂	Kohlenstoffdioxid	
COP26	26. Klimakonferenz der Vereinten Nationen im Jahr 2021	United Nations Framework Convention on Climate Change, 26th Conference of the Parties
CORFO	Chilenische Agentur für Wirtschaftsförderung	Corporación de Fomento de la Producción de Chile
COVID-19	Coronavirus-Krankheit-2019	Coronavirus disease 2019
CSP	Solarwärmekraftwerk	Concentrated Solar Power
DBA	Doppelbesteuerungsabkommen	
DEG	Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft	
DnB	Norwegens größte Bank	Den Norske Bank
EP	Energiepartnerschaft	
ESCO	Energiedienstleistungsfirma	Energy Saving Company
EU	Europäische Union	
EUR	Euro (Währung)	
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH	
GLS Bank	Gemeinschaftsbank für Leihen und Schenken, deutsche Genossenschaftsbank	
GW	Gigawatt (= eine Milliarde Watt)	
H₂v	Erneuerbar erzeugter (grüner) Wasserstoff	Hidrógeno verde
IFA	Finanzielles Hilfsprogramm für bedürftige chilen. Familien während der COVID-19-Pandemie	Ingreso Familiar de Emergencia
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen	
kW(h)	Kilowatt(stunde)	
LKW	Lastkraftwagen	
Mio.	Millionen	
Mrd.	Milliarden	

MW(h)	Megawatt(stunde)	
NE-Metall	Nichteisenmetall	
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	Organisation for Economic Cooperation and Development
RFI	allgemeine Anfrage an verschiedene Anbieter und Hersteller eines Produkts oder Technologie, um sich einen ersten Überblick über die Angebote auf dem Markt zu machen	Request for information
S.A.	Aktiengesellschaft	Sociedad Anónima
SEIA	System zur Umweltverträglichkeitsprüfung	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SII	Steuerbehörde	Servicio de Impuestos Internos
TRL	Technologie-Reifegrad	Technology Readiness Level
UF	Monetäre Rechnungseinheit	Unidad de Fomento
USA	Vereinigte Staaten von Amerika	United States of America
USD	US-Dollar	
WTO	Welthandelsorganisation	World Trade Organization

Inhaltsverzeichnis

1. Executive Summary	8
2. Projektziel und -rahmen	8
3. Zielgruppe in der deutschen Energiebranche	10
4. Projekt- und Wettbewerbsumfeld	12
5. Wirtschaftliche Machbarkeit	17
5.1. Förderprogramme und Finanzierungsmöglichkeiten.....	19
5.2. Öffentliche Vergabeverfahren und Ausschreibungen für Projekte	22
6. Technische Lösungsansätze	23
7. Relevante rechtliche und politische Rahmenbedingungen	27
7.1. Regulatorische Rahmenbedingungen	27
7.2. CO ₂ -Preis	28
7.3. Fachkräfte.....	28
7.4. Zahlungs- und Vertriebsstruktur	28
8. Umsetzungsoptionen	32
9. SWOT-Analyse	34
10. Profile der Marktakteure	35
11. Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: LCOH für die Produktion aus	14
Abbildung 2: Potenzial für erneuerbare Energien im Norden Chiles	17
Abbildung 3: Potenzial für erneuerbare Energien im Süden Chiles.....	18
Abbildung 4: Energieverbrauch im Bergbausektor Chiles.....	24
Abbildung 5: Konsum von Brennstoffen in verschiedenen Bergbau-Prozessen	25
Abbildung 6: Anzahl Importe Bergbau-LKW mit über 50 t Ladekapazität	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verbände und (Forschungs-)Institutionen im Bereich Wasserstoff in Chile.....	15
Tabelle 2: Finanzinstitutionen, die Energievorhaben in Chile unterstützen	21
Tabelle 3: SWOT-Analyse	34

Infoboxen

Infobox 1: Status quo Doppelbesteuerungsabkommen Chile - Deutschland.....	30
---	----

Währungsumrechnung

1 EUR = 1,0591 USD = 931,95 CLP = 35.009,7 UF (Kurs vom 22.12.2022).

Energieeinheiten

1 mW (Milliwatt)	0,001 W
1 W (Watt)	1 W
1 kW (Kilowatt)	1.000 W
1 MW (Megawatt)	1.000.000 W
1 GW (Gigawatt)	1.000.000.000 W

1. Executive Summary

In Chile wird das Thema grüner Wasserstoff immer wichtiger. Durch die hervorragenden Bedingungen für erneuerbare Energien und den damit einhergehenden starken Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugungskapazität ist das Thema in den letzten Jahren in den Fokus gerückt und im Bergbausektor gibt es gleichzeitig große Bestrebungen, den CO₂-Fußabdruck zu reduzieren und die Bergbauproduktion klimaneutral zu gestalten.

Diese Faktoren bescheren dem Thema Wasserstoff im Bergbausektor in Chile mittel- bis langfristig ein sehr hohes Potenzial. Auch kurzfristig ist dies für Pilotanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gegeben, von denen in den kommenden Jahren einige errichtet werden.

Durch den hohen Verbrauch an fossilen Brennstoffen im Bergbau ergibt sich hier perspektivisch auch ein sehr hohes Potenzial für die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff, vor allem in Fahrzeugen wie Muldenkippern. Die großen Bergbauunternehmen haben entsprechend schon Projekte angekündigt bzw. mittlerweile schon Pilotprojekte errichtet, um Erfahrungen mit Produktion und Einsatz von grünem Wasserstoff sammeln zu können. Dies wird sich zum Teil schon jetzt und wird sich in den nächsten Monaten und Jahren auch immer mehr auf mittlere und kleine Bergbaubetriebe übertragen.

Deutsche Technologien genießen in Chile einen ausgezeichneten Ruf. Im Rahmen eines Markteinstiegs sollten angesichts der aussichtsreichen Absatzmöglichkeiten allerdings die vorhandenen Marktbarrieren und -risiken nicht außer Acht gelassen werden. Kulturelle Unterschiede in der Geschäftspraxis, das abweichende Bildungsniveau von Fachkräften oder ein stark schwankender Wechselkurs sind nur einige der zu nennenden Faktoren. Ein langer Atem und ein verlässliches Netzwerk sind für den mittel- und langfristigen Erfolg im chilenischen Markt daher von entscheidender Bedeutung.

Durch die jetzt anstehende Errichtung von Pilotanlagen ist es wichtig, sich schon jetzt im Markt zu positionieren, um auch bei zukünftigen Projekten präsent zu sein. Das Interesse an dem Thema ist bei verschiedenen Akteuren im chilenischen Bergbausektor groß.

2. Projektziel und -rahmen

Das Projekt hat zum Ziel, den Einsatz von fossilen Brennstoffen im chilenischen Bergbau zu verringern und grünen Wasserstoff vor allem für Bergbau-LKW und weitere Fahrzeuge zu produzieren, Wasserstoff als Stromspeicher zur Rückverstromung und synthetische Kraftstoffe für Prozesse bereitzustellen, die nicht dekarbonisiert werden können. Von den großen Bergbauunternehmen haben die meisten Reduktionspläne zur Reduzierung von CO₂-Emissionen veröffentlicht, die es in einigen Jahren nötig machen werden, grünen Wasserstoff in den Bergbauminen einzusetzen. Neben dem Ziel der Verringerung der Emissionen aus Gründen des Klimaschutz spielt im chilenischen Bergbau auch das Bestreben eine Rolle, grüne Metalle zu produzieren, weil dies in absehbarer Zeit von den internationalen Abnehmern immer mehr erwartet werden wird.

Um potenziellen Auftraggebern aus dem Bergbaubereich in Chile ein großes Spektrum an Technologien und integrierte Lösungen aus Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff anbieten zu können, ist es sinnvoll, ein Konsortium von Technologienanbietern und Projektentwicklern aus diesen Bereichen zu bilden. Ziel der Konsortialbildung ist es, ein Konsortium aus deutschen Anlagen- und Technologielieferanten zu bilden, um gemeinsam Projekte wie die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff für Fahrzeuge im Bergbau und für weitere Bergbauprozesse und in kleinem Maßstab für Rückverstromung und auch für Synthetisierung von Kraftstoffen und Ammoniak zu planen und umzusetzen.

Zielgruppe sind Unternehmen, die Wasserstoffprojekte entwickeln und die Komponenten wie Elektrolyseure, Speicherlösungen, Kompressoren, Tankstellen, Brennstoffzellen und Lösungen zur Synthetisierung von Kraftstoffen und Ammoniak herstellen.

Über die Hälfte der Exporte Chiles sind Rohstoffe und allein Kupfer macht 45% des Exportvolumens aus. Chile nimmt auch international eine bedeutende Stellung im Bereich Bergbau ein, so liegen 23% der weltweiten Kupferreserven und über die Hälfte der weltweiten Lithiumreserven in Chile. Gleichzeitig besteht auch im Bergbausektor Chiles die Notwendigkeit, die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Im Jahr 2019 hat allein der Bergbausektor im Land über 16 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent ausgestoßen, was rund 18% der gesamten Emissionen des Landes ausmacht. Über 90% der direkten Emissionen im Bergbau entfallen auf den Konsum von Diesel. Hier spielen vor allem die über 1.500 Bergbau-LKW eine Rolle, für die in einem Forschungsprojekt der Einsatz von Wasserstoff durch den Einsatz von Brennstoffzellen erprobt wird. Weitere Anwendungen im Bergbausektor sind der Einsatz von Brennstoffzellen in der Personenbeförderung und als Stromspeicher, um die Branche zu 100% auf erneuerbare Energien umstellen zu können.

Bisher wurden im Bergbau-Bereich schon einige Projekte zum Einsatz von Wasserstoff angekündigt und einige wenige Pilotprojekte mittlerweile auch fertiggestellt. Insgesamt wurden in Chile über 80 Wasserstoffprojekte angekündigt, dies schließt auch Projekte zum Export von Ammoniak und Methanol sowie weitere Projekte zur Produktion und Anwendung in Chile mit ein.¹ Viele dieser Projekte planen die Installation von sehr großen Elektrolyseuren und ein hohes Produktionsvolumen, gleichzeitig werden diese Projekte meist von internationalen Konzernen geplant. Für ein deutsches Konsortium zur Errichtung von Wasserstoffprojekten im chilenischen Bergbau würden sich daher eher mittlere Bergbauunternehmen anbieten, die Projekte im Bereich von 1-10 MW planen. Auch Pilotprojekte in größeren Bergbauprojekten sind denkbar, wenn sich diese in dem Rahmen bis ca. 10 MW bewegen, was vor allem auf Pilotprojekte zutrifft. Hier ist als Beispiel das Projekt des Centro de Pilotaje in Zusammenarbeit mit der Bergbaubetriebe San Pedro zu nennen. Auch gäbe es weitere Möglichkeiten zur Nutzung wie z. B. in Gabelstaplern wie im Projekt von AngloAmerican oder in normalen LKW. Die AHK Chile ist mit mehreren Unternehmen in Kontakt, die Projekte planen und einige Unternehmen haben bereits Interesse an dem Konsortialansatz gezeigt. Bei einem Projekt handelt es sich um einen Piloten mit einigen 100 kW für Fahrzeuge, der im zweiten Schritt auf ca. 3 MW Elektrolyse bis hin zur Tankstelle verwirklicht wird. Ein weiteres Projekt ist noch in einem sehr frühen Stadium und sucht Partner für die Errichtung von Wasserstofftankstellen mit lokaler Produktion von grünem Wasserstoff in mehreren Schritten bis zu einer Größe von etwa 10-15 MW. Ein weiteres mögliches Projekt für die Zusammenarbeit mit dem Konsortium verwendet auch Wasserstofffahrzeuge und benötigt 2024 bereits die Lieferung von ca. 90 kg Wasserstoff pro Tag und mittelfristig ein Vielfaches hiervon. Das Unternehmen würde die Wasserstoffherzeugung aber nicht selbst betreiben, sodass zuerst eine Zusammenarbeit mit einem möglichen Betreiber einer Wasserstoffproduktion ausgelotet werden müsste. Für die für im Laufe des Jahres geplante Reise wird die AHK Chile noch weitere Projekte prüfen, die für ein Konsortium infrage kommen.

Für die existierenden Projekte besteht auch die Schwierigkeit, die Lieferanten der zahlreichen Komponenten für die Umsetzung der Projekte zu koordinieren und dort vor allem die Kosten für die Projekte genau zu kalkulieren. Dies wirkt sich infolge auf die Kalkulation der finalen Wasserstoffpreise aus, was einen zusätzlichen Vorteil für ein Konsortium darstellt, da man hier für den potenziellen Projektpartner bzw. Abnehmer des Wasserstoffs die Projektkosten gebündelt kommunizieren kann.

¹ Argus Media (2022): Cop 27: Chile inks deals for green hydrogen finance, unter: <https://www.argusmedia.com/es/news/2390623-cop-27-chile-inks-deals-for-green-hydrogen-finance?backToResults=true> (Abruf vom 09.12.2022).

3. Zielgruppe in der deutschen Energiebranche

Die AHK Geschäftsreise richtet sich hauptsächlich an kleine und mittelständische Unternehmen, die Wasserstoffprojekte entwickeln und Komponenten wie Elektrolyseure, Anbieter von Speicherlösungen, Kompressoren, Komponenten für Wasserstoff-Tankstellen und Brennstoffzellen und evtl. auch Lösungen für die Gasreinigung und H₂-Sensoren. Des Weiteren gehören Unternehmen, die Lösungen für den Transportsektor anbieten, wie z. B. die Installation von Wasserstoff-Tankstellen, Busse und Gabelstapler auf Wasserstoffbasis und langfristig auch LKW, zur Zielgruppe. Unternehmen des Sektors Raffinerie (petrochemische Industrie) sowie Komponentenhersteller, Lieferanten und Projektentwickler für den Bergbau können ebenso Geschäftspotenzial vorfinden wie auch Anbieter von Carbon Capture-Technologien.

Deutsche Unternehmen, die in den genannten Bereichen technologische Lösungen sowie Projekt-Know-how mitbringen können, haben gute Chancen in Chile den frühen Markteintritt zu schaffen. Das Interesse an Technologien Made in Germany, die bestenfalls in Deutschland oder in anderen Märkten schon zum Einsatz kommen und an die chilenischen Bedingungen angepasst werden können, ist von Seiten des chilenischen Staates und der staatlichen Unternehmen, aber auch von Seiten der Industrie und des privaten Unternehmertums konstant hoch.

Elektrolyseure

Laut dem Bericht der International Renewable Energy Agency (IRENA) wird mit grüner Energie erzeugter Wasserstoff bis zum Jahr 2030 bei den Gesteungskosten mit fossilen Brennstoffen mithalten. Grundlage hierfür sind die Kombination weiterhin sinkender Kosten für Wind- und Solarenergie mit Skaleneffekten bei Elektrolyseuren.² Erstgenanntes ist durch die geografischen Gegebenheiten in Chile gegeben. Das Potenzial der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien als Voraussetzung für eine konkurrenzfähige Erzeugung durch Elektrolyse ist 70-mal höher als die bereits installierte Erzeugungskapazität.³ Strom aus Windenergie kann in Patagonien z. B. für 25-30 USD/MWh erzeugt werden.⁴

Am 2. Dezember 2020 wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) der erste Förderbescheid für ein konkretes Projekt für grünen Wasserstoff in industriellem Maßstab an Siemens Energy übergeben. Auf der Pressekonferenz wurde sowohl von Seiten des damaligen Bundeswirtschaftsministers Peter Altmaier als auch von Seiten der Repräsentanten von Siemens Energy und Porsche (zukünftiger Abnehmer des in Chile produzierten e-Kraftstoffs) das Potenzial der Elektrolyse in Chile unterstrichen.⁵ Das Projekt könnte noch in 2022 die Produktion aufnehmen. 130.000 Liter klimaneutrales Benzin sollen pro Jahr produziert werden.⁶ Aber nicht nur die günstigen Verhältnisse für Windenergie im Süden, sondern auch die hohe Solarstrahlung im Norden Chiles bieten beste Voraussetzungen zum Einsatz der Elektrolysetechnologie zur Erzeugung von grünem Wasserstoff.

Speicher, Power-to-Gas

Nach derzeitigen Plänen sollen alle Kraftwerke bis 2040 stillgelegt werden. Es wird jedoch erwogen, den Termin auf 2030 oder sogar 2025 vorzuverlegen. In einer ersten Phase von 2019 bis 2026 sollen zunächst 18 kohlebefeuerte Kraftwerksblöcke mit einer Gesamtleistung von rund 3,5 GW stillgelegt werden. Die Termine für die Stilllegung der verbleibenden 10 Anlagen mit insgesamt rund 1,9 GW stehen noch aus.⁷ Bis 2035 sollen laut chilenischer Energieagenda zudem mindestens 60% und bis 2050 70% der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien stammen. Der Kohleausstieg

² IRENA International Renewable Energy Agency (2021): Making the Breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_Hydrogen_breakthrough_2021.pdf?la=en&hash=40FA5B8AD7AB1666EECBDE30EF458C45EE5A0AA6 (Abruf vom 22.11.2022).

³ Ministerio de Energía (2020): *Estrategia Nacional Hidrógeno verde: Resumen Ejecutivo*, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional-hidrogeno-verde_vdef.pdf (Abruf vom 31.12.2020).

⁴ IRENA International Renewable Energy Agency (2021): Making the Breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_Hydrogen_breakthrough_2021.pdf?la=en&hash=40FA5B8AD7AB1666EECBDE30EF458C45EE5A0AA6 (Abruf vom 22.11.2022).

⁵ BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): PTX-Projekt „Haru Oni“: Altmaier übergibt ersten Förderbescheid für internationales Projekt für grünen Wasserstoff, unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/12/20201202-ptx-projekt-haru-oni-altmaier-uebergibt-ersten-foerderbescheid-fuer-internationales-projekt-fuer-gruenen-wasserstoff.html> (Abruf vom 22.11.2022).

⁶ Wirtschaftswoche (2022): *Wieso die Pilotfabrik für deutsche E-Fuels in Patagonien entsteht*, unter <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/e-mobility/wirtschaft-von-oben-169-energieboom-in-patagonien-wieso-die-pilotfabrik-fuer-deutsche-efuels-in-patagonien-entsteht/28546284.html> (Abruf vom 22.11.2022).

⁷ BN Americas (2022): *Retiro de centrales a carbón en Chile: la nueva capacidad requerida en escenarios de 2025 y 2030*, unter <https://www.bnamericas.com/es/analisis/retiro-de-centrales-a-carbon-en-chile-la-nueva-capacidad-requerida-en-escenarios-de-2025-y-2030> (Abruf vom 22.11.2022).

basiert auch darauf, dass in Zukunft Speicherlösungen der volatil erzeugten Energie zur Verfügung stehen müssen. Hier wird in der nationalen Wasserstoffstrategie klar hervorgehoben, dass besagte Speichertechnologien zur Prioritätenliste gehören. Ab 2025 wird damit gerechnet, dass der erzeugte Wasserstoff dann auch punktuell (und ab 2040 massiv) zur elektrischen Stromerzeugung (Rückverstromung) und somit zur Überbrückung von Versorgungslücken im Stromnetz eingesetzt werden kann.⁸

Des Weiteren will sich Chile als Exporteur von grünem Wasserstoff für den Weltmarkt positionieren, was die effiziente Speicherung des Exportgutes und alle damit verbundenen Technologien, Komponenten und Prozesse unabdingbar macht. Technologien deutscher Hersteller, die im Heimatmarkt oder auch in andere Märkten in Pilotprojekten bereits Anwendung gefunden haben und an chilenische Gegebenheiten angepasst werden können und somit das Aufbauen einer Infrastruktur der zukünftigen Exportgüter grüner Wasserstoff und/oder synthetische Kraftstoffe fördern, werden von Seiten der politischen Entscheidungsträger und der ansässigen Industrie gesucht. Hier seien Komponenten für die Methanisierung, aber auch zur Gewinnung von Wasserstoff aus Biogasanlagen erwähnt. Des Weiteren wird neben der Technologie auch das Know-how in Form von Dienstleistung und Projektentwicklung nachgefragt werden.

Industrie-, Transport- und Bergbausektor

Laut der chilenischen nationalen Wasserstoffstrategie gehört der Industriesektor zu den Sektoren, die Wasserstofftechnologien zeitnah in einer ersten Welle einsetzen werden. So soll z. B. der bisher importierte Ammoniak durch lokale Produktion substituiert werden und der Einsatz von grauem Wasserstoff durch grünen Wasserstoff in den Raffinerien ersetzt werden. Die Produktion von Ammoniak soll auf mittlere Sicht nicht nur den lokalen Bedarf decken, sondern ist auch für den Export bestimmt.⁹ Anbieter von Technologielösungen und Komponenten (z. B. Prozessgaskompressoren etc.) sind hier besonders gefragt.

Eine parallele frühe Entwicklung ist für den Transportsektor vorgesehen, sodass Hersteller von Brennstoffzellen, Lösungen für den Personentransport (zunächst Langstrecke) und für den Schwertransport gute Geschäftsmöglichkeiten haben. Mit dem Aufbau eines auf Wasserstoff basierenden Transportsektors geht einher, dass Lösungen für Wasserstofftankstellen nachgefragt werden. Entwickler von Tankstellenlösungen, sowohl auf Technologieebene als auch auf Projektentwicklungsebene, sind demnach eine interessante Zielgruppe.

In Kombination mit dem Transportsektor steht der Bergbausektor an vorderster Stelle. Chile verfügt über die größte Flotte von Minenfahrzeugen, was ein großes Potenzial für Unternehmen schafft, die sowohl Technologie für Wasserstofffahrzeuge anbieten, aber auch Infrastrukturen in den Minen schaffen können, die eine Transition des Sektors hin zu wasserstoffbetriebenen Flotten erlaubt. Aber auch der Einsatz in der Stahlproduktion (z. B. als Koksersatz) wird mittelfristig angestrebt, was Potenzial für deutsche Bergbauzulieferer bietet, die dahingehend technologische Lösungen und Projekt-Know-how mitbringen.¹⁰

Carbon Capture-Technologien

Neben den oben aufgeführten Technologieanbietern gehören zudem Unternehmen zur Zielgruppe, die Erfahrung mit Carbon Capture-Technologien mitbringen bzw. Komponenten oder Anlagen liefern können. Dabei sind nicht nur Anbieter gefragt, die Lösungen für die Abtrennung von Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen entwickeln, sondern auch Anbieter von Direct Air Capture-Technologien.

⁸ Ministerio de Energía (2020): *Estrategia Nacional Hidrógeno verde: Resumen Ejecutivo*, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional_hidrogeno-verde_vdef.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

⁹ Ministerio de Energía (2020): *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

¹⁰ Ministerio de Energía (2020): *Estrategia Nacional Hidrógeno verde: Resumen Ejecutivo*, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional_hidrogeno-verde_vdef.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

4. Projekt- und Wettbewerbsumfeld

Der chilenische Markt für Wasserstoff hat im internationalen Vergleich ein sehr hohes Potenzial, was auf die hervorragenden Bedingungen für erneuerbare Energien und damit einhergehende niedrige Strompreise zurückzuführen ist. Insbesondere in der Atacama-Wüste im Norden Chiles, die Region mit der höchsten Sonneneinstrahlung weltweit, und im südlich gelegenen Magallanes, welches besonders gute Windbedingungen aufweist, ist die Produktion von grünem Wasserstoff äußerst vielversprechend. Folglich wird Wasserstoff seitens der Regierung und CORFO als strategisches Thema angesehen, wobei Chile weltweit die Führung bei der Produktion und dem Export von grünem Wasserstoff übernehmen will. Außerdem soll die verstärkte Anwendung von Wasserstoff dazu beitragen, die angestrebte CO₂-Neutralität in Chile bis 2050 zu erreichen. Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie, die im November 2020 von dem chilenischen Energieministerium und der Regierung bekanntgegeben wurde, ist eine Roadmap bis 2050 ausgearbeitet worden, die drei Hauptziele festlegt:¹¹

- Bis zum Jahr 2030 soll Chile gemessen an den reinen Produktionskosten in der Lage sein, den weltweit günstigsten grünen Wasserstoff herzustellen, bei einer jährlichen Produktionskapazität von bis zu 160 Megatonnen.¹²
- Bis zum Jahr 2040 soll Chile zu den drei wichtigsten Exporteuren von grünem Wasserstoff weltweit zählen.
- Bis zum Jahr 2025 soll die installierte Elektrolysekapazität grüner Wasserstoffprojekte im Land auf 5 GW steigen, bis Ende 2030 sogar auf 25 GW.

Für grüne Wasserstoffprojekte, die in der Regel von gemischten internationalen Konsortien realisiert werden, ist eine Finanzierungsrunde in Höhe von 50 Mio. USD (47 Mio. EUR) angekündigt worden.

In einem ersten Schritt soll in Chile ein Heimatmarkt für grünen Wasserstoff geschaffen werden, wobei importierter Ammoniak durch lokale Produktionen ersetzt werden soll. In den Raffinerien des Landes soll anstatt des grauen Wasserstoffs, der mithilfe von Erdgas hergestellt wird, grüner Wasserstoff zum Einsatz kommen. Bisher wird Wasserstoff in Chile in geringen Mengen zur Entschwefelung von konventionellen Kraftstoffen eingesetzt. Für die Produktion von grünem Wasserstoff gibt es bisher keine Anlagen.

Einige Akteure haben sich bereits am Markt für Wasserstoff positioniert und sind an verschiedenen Vorhaben in Chile mitbeteiligt. Zu ihnen zählen:

- **ENGIE** (<https://www.engie.com/en>)
Das französische Energieunternehmen hat seine globale Operationsbasis für grünen Wasserstoff in Chile installiert und ist für die Erzeugung, Übertragung und Lieferung von Strom zuständig. Außerdem transportiert ENGIE Erdgas und bietet Energielösungen für den Bergbau, Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen an. Gemeinsam mit dem chilenischen Sprengstoffhersteller Enaex hat ENGIE im September 2020 angekündigt, eine Pilotanlage für die Produktion von grünem Ammoniak auf Basis von erneuerbar produziertem Wasserstoff in der Stadt Mejillones, ca. 1.400 km nördlich von Santiago de Chile, zu bauen. Darüber hinaus ist ENGIE an einem Projekt zum Einsatz von grünem Wasserstoff im Bergbau beteiligt, bei welchem hybride Antriebsmodule entwickelt werden, die aus Batterien der neuesten Technologie und Wasserstoff-Brennstoffzellen (grüner H₂) bestehen. Mitbeteiligt sind außerdem das in Australien ansässige angewandte Forschungszentrum CSIRO Chile und Mining3. Nicht zuletzt plant ENGIE die Produktion von grünem Wasserstoff mit Windenergie in Feuerland für den späteren Export. Das Projekt soll bis 2025 realisiert werden.
- **Linde** (<http://www.linde.cl/en/index.html>)
Linde ist ein internationales Unternehmen, das Industriegase, Anwendungslösungen, Hardware und Dienstleistungen verkauft. Linde bietet verschiedene Komponenten rund um Wasserstoff an und entwickelt u. a. umweltfreundliche Wasserstofftechnologien. Außerdem widmet sich das Unternehmen der Planung, dem Bau und

¹¹ Ministerio de Energía (2020): *Gobierno presenta la Estrategia Nacional para que Chile sea líder mundial en hidrógeno verde*, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-presenta-la-estrategia-nacional-para-que-chile-sea-lider-mundial-en-hidrogeno-verde#:~:text=La%20estrategia%20nacional%20de%20hidr%C3%B3geno,electr%C3%B3lisis%20en%20desarrollo%20al%202025> (Abruf vom 28.10.2022).

¹² Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2020): *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones*, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf, S. 11 (Abruf vom 27.10.2022).

der Inbetriebnahme schlüsselfertiger Wasserstoffanlagen zur Herstellung von Wasserstoff. In Chile ist Linde in den Städten Punta Arenas, Puerto Montt, Valdivia, Temuco, Concepción, Santiago, Valparaíso und Concón vertreten. Linde ist in einem internationalen Konsortium vertreten, welches Frontlader im Bergbau mit Brennstoffzellen ausstatten will. An dem Projekt sind außerdem die Universität Federico Santa María, das staatliche Bergbauunternehmen CODELCO, das chilenische Bergbauunternehmen Collahuasi, Metalpar, Siemens, ENGIE, die chilenische Bergbaugesellschaft SONAMI und das spanische Zentrum für Wasserstoff Centro Nacional de Hidrógeno de España beteiligt.

- **COPEC** (<https://ww2.copec.cl/#/>)
COPEC (Compañía de Petróleos de Chile S.A.) ist ein chilenischer Mineralölkonzern mit Tankstellen-Netz und führend im Vertrieb von Treib- und Schmierstoffen. Das Unternehmen plant aktuell den Streckenausbau in der nördlichsten Region Chiles (Norte Grande) zur Produktion und Lieferung von grünem Wasserstoff für die Transportbusse der Bergleute.
- **ENAP** (<https://www.enap.cl/>)
Der nationale Ölkonzern ENAP ist an einem Großprojekt beteiligt, welches durch die deutsche Bundesregierung mit 8,23 Mio. EUR gefördert wird. Es ist das erste Wasserstoff-Vorhaben, das im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie Deutschlands unterstützt wird. Das geplante PtX-Projekt „Haru Oni“ in Magallanes, welches auch unter dem Namen HIF (Highly Innovative Fuels) bekannt ist, sieht die Produktion von klimaneutralem Kraftstoff mit dem aus Windstrom hergestellten Wasserstoff und dem aus der Luft abgeschiedenen CO₂ vor. Nach Angaben des BMWK handelt es sich dabei um die weltweit erste integrierte Anlage zur Herstellung von klimaneutralem Kraftstoff. Das Projekt umfasst neben ENAP mehrere internationale Partner wie Enel Green Power Chile, den chilenischen Energiekonzern AME und Siemens Energy sowie Porsche als Hauptabnehmer des synthetischen Treibstoffs. Die Anlage ist seit Dezember 2022 in Betrieb und hat eine Produktionskapazität von 130.000 Litern synthetische Kraftstoffe pro Jahr (2024: 55 Mio. Liter, 2026: 550 Mio. Liter).
- **Siemens** (<https://www.siemens-energy.com>)
Siemens Energy erforscht und entwickelt seit mehr als 10 Jahren eine Technologie zur Erzeugung von grünem Wasserstoff aus erneuerbarer Energie mittels PEM-Elektrolyse und leistet damit einen wesentlichen Beitrag zur globalen Energiewende. Neben seiner Beteiligung am Wasserstoff-Großprojekt in Magallanes plant Siemens die Einrichtung einer Forschungszentrale in Chile.

In diesem dynamischen Kontext haben deutsche Exporteure von Wasserstoff-Technologien Aussichten auf interessante Geschäftsmöglichkeiten in Chile. Langfristig ist der potenzielle Einsatz von Wasserstoff in Chile in allen Wirtschaftsbereichen denkbar. Kurz- bis mittelfristig ist die Nutzung in bestimmten Branchen jedoch aus wirtschaftlichen oder strategischen Gründen zu einem früheren Zeitpunkt zu erwarten.

Bergbau

Der Bergbausektor hat traditionell eine wichtige Bedeutung für Chile und ist gleichzeitig einer der größten Energieverbraucher, weshalb der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energien in der Bergbauindustrie der Schlüssel für den Übergang zu einem nachhaltigen Bergbau und die Erreichung der CO₂-Neutralität in Chile bis 2050 ist. Allein durch den Einsatz von Wasserstoff im Bergbau können potenziell 20% der CO₂-Emissionen Chiles eingespart werden. Seitens des Energieministeriums wird aber auch das Potenzial gesehen, durch den Einsatz von Wasserstoff im Bergbau die Produktivität zu erhöhen und die Produktion insgesamt effizienter zu gestalten.¹³

Wie in Kapitel 3 erläutert, verfügt Chile über große Möglichkeiten für die Produktion von grünem Wasserstoff, aber es müssen effiziente und attraktive Technologien gefunden werden, bei denen er eingesetzt werden kann. Grüner Wasserstoff könnte u. a. in Doppelverbrennungsmotoren (Wasserstoff-Diesel) und Brennstoffzellen für leichte und schwere Fahrzeuge, Bergbaumaschinen, Fracht- und Personenbeförderung, Energie-Backup-Systeme, Kommunikationssysteme, Ausrüstungen für Förderbohrungen, Steuerung und Überwachung zum Einsatz kommen.

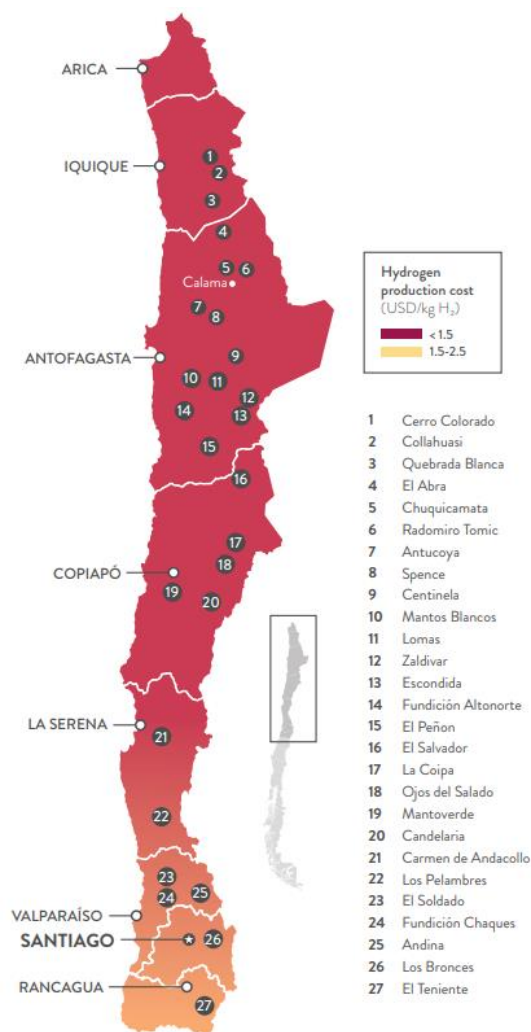
Partner im Bergbau-Sektor und Industrie im Allgemeinen:

Projekt Eco Mining Concepts der AHK Chile (<https://ecominingconcepts.cl/de/>), Kompetenzzentrum Bergbau und Rohstoffe AHK Chile (<https://chile.ahk.de/themen/bergbau-und-rohstoffe>), Nationale Bergbau-Gesellschaft (Sociedad Nacional de Minería, SONAMI - <https://www.sonami.cl/v2/acerca-de-sonami/>), Bergbau-Rat (Consejo Minero -

¹³ Revista Electricidad (2019): *Foronor 2019 - hidrógeno verde en minería aportaría 20% en meta de carbono neutralidad*, unter: <http://www.revistaeci.cl/2019/10/02/foronor-2019-hidrogeno-verde-en-mineria-aportaria-20-en-meta-de-carbono-neutralidad/#> (Abruf vom 04.11.2022).

www.consejominero.cl), GIZ Chile (Projekt Energieeffizienz im Bergbau - <https://www.4echile.cl/proyectos/ee-mineria/>), Handelskammer Santiago (Cámara de Comercio de Santiago - www.ccs.cl), Gesellschaft der produzierenden Industrie (SOFOFA - www.sofofa.cl), Chilenischer Kupferbergbau-Konzern (Corporación Nacional del Cobre, CODELCO - <https://www.codelco.com/>)

Abbildung 1: LCOH für die Produktion aus der Elektrolyse¹⁴



Wie in der Abbildung zu sehen ist, befinden sich die Bergbaustandorte des Landes aufgrund der vorhandenen erneuerbaren Energieressourcen in privilegierten Gebieten für die Herstellung von grünem Wasserstoff. Damit ist der Bergbau ein hervorragender Kandidat für den Einsatz von grünem Wasserstoff und seinen Technologien. In der Abbildung sind die verschiedenen aktiven Bergwerke aufgeführt, die hervorragende potenzielle Partner für die Einführung grüner Wasserstofftechnologien wären.

Transport

Im Transportsektor, welcher derzeit 36,6% des Energiekonsums Chile ausmacht,¹⁵ besteht das Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff generell bei größeren Fahrzeugen wie Bussen, LKW und bei größeren PKW. Zudem soll Wasserstoff langfristig auch als alternativer Treibstoff für die öffentlichen Verkehrsmittel zum Einsatz kommen.

Tendenziell gibt es in Chile einen wachsenden Bestand sowohl an Bussen und Minibussen als auch an LKW, Pickups und PKW. Der Bestand an Bussen ist vom Jahr 2014 zum Jahr 2018 um 8,4% gestiegen, der Bestand an Minibussen bis 17 Personen sogar um 44,3%. Bei LKW gab es im selben Zeitraum eine Steigerung von 6,2%, bei Pickups eine Steigerung von 20,4%, sodass bei der angestrebten Einhaltung der Klimaziele eine Reduzierung von Emissionen auch im Transportsektor nötig wird.¹⁶

Es wird davon ausgegangen, dass 10% des Kraftstoffverbrauchs von Überlandbussen und LKW sowie des Verbrauchs von Bergbau-LKW durch Wasserstoff ersetzt werden könnten (entweder durch Doppelverbrennung und/oder durch Brennstoffzellen), wobei zu berücksichtigen ist, dass es weitere Alternativen für die Dekarbonisierung dieser Sektoren gibt (Elektromobilität auf Basis

von Lithiumbatterien, elektrische Systeme für Bergbau-LKW, CAEX). Aktuell gibt es in Chile noch keine Wasserstofftankstellen, die öffentlich zugänglich sind.

Partner im Transport-Sektor:

Abteilung für Transport im Ministerium für Verkehr und Telekommunikation (<https://www.subtrans.gob.cl/>), Energiekommission der Vereinigung Colegio de Ingenieros de Chile A.G. (<https://www.ingenieros.cl/comisiones/comisiones-sectoriales/comision-energia/>), Chilenischer Verband des Straßengüterverkehrs (Chile Transporte A.G. - <https://www.chiletransporte.cl/>), Nationale Vereinigung des

¹⁴ Asociación Chilena del Hidrógeno, Hidrógeno verde en minería, unter: https://h2chile.cl/wp-content/uploads/2021/11/20211118_H2V_Mineria-4-1.pdf (Abruf vom 24.11.2022).

¹⁵ Energía Abierta (2020): Balance nacional de energía – 2019, unter: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/> (Abruf vom 04.11.2022).

¹⁶ Comisión Chilena del Cobre (2019): Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2018), unter: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Analisis%20Mercado%20de%20los%20Insumos%20Cr%C3%ADticos%202019vf2.pdf> (Abruf vom 06.11.2022).

Gütertransports Chile (Confederación Nacional del Transporte de Carga de Chile, CNTC - <https://www.cntcchile.cl/>), Interregionaler, internationaler und industrieller Busverband (Asociación de Buses Interprovinciales, Internacionales e Industriales, ABI - <http://abi-ag.cl/>), Nationaler Verband der ländlichen, interregionalen, internationalen und privaten Transportbusse (Federación Nacional de Buses del Transporte Rural, Interprovincial, Internacional y Privado, Fenabus - <http://fenabuschile.cl/sitio/>), Chilenische Gesellschaft für Verkehrstechnik (Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte - <https://sochitran.cl/>).

Branchenverbände im Bereich Wasserstoff:

Neben den bereits genannten Akteuren unterstützen die Branchenverbände mit Informationsbeschaffung und -bereitstellung, Technologietransfer und der Platzierung ihrer Thematiken an den entsprechenden Stellen der Politik. Nachstehend findet sich eine Auflistung der relevantesten Branchenverbände im Bereich Wasserstoff in Chile.

Tabelle 1: Verbände und (Forschungs-)Institutionen im Bereich Wasserstoff in Chile

Branchenverband	Kurzbeschreibung
H2 Chile www.h2chile.cl/h2-chile	Der chilenische Verband für Wasserstoff (Asociación Chilena de Hidrógeno) steht für die Zusammenarbeit zwischen öffentlichen, privaten und akademischen Einrichtungen, die an der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger interessiert sind. Ziel ist es, die Energiewende zu beschleunigen, indem die Entwicklung von Wasserstofftechnologien und ihre Verwendung als Energieträger in Industrie-, Gewerbe-, Wohn- und Mobilitätsanwendungen gefördert werden. ➤ Liste der Mitglieder: https://www.h2chile.cl/socios
ACERA www.acerca.cl	Die ACERA ist der größte Verband im Bereich der erneuerbaren Energien in Chile und zählt derzeit 120 Mitglieder. ➤ Liste der Mitglieder: https://acerca.cl/socios/
ACESOL www.acesol.cl	Der chilenische Solarenergieverband ACESOL (Asociación Chilena de Energías Solar A.G.) vertritt derzeit die Interessen von 53 Unternehmen aus dem Photovoltaik- und Solarthermiebereich. Da Solarenergie eine wichtige Komponente in der Produktion von grünem Wasserstoff repräsentiert, ist das Thema Wasserstoff für den Verband strategisch von Interesse. ➤ Liste der Mitglieder: https://acesol.cl/asociados.html
CLUB DE INNOVACIÓN www.clubdeinnovacion.com	Seit 2004 ist der Club de Innovación darauf spezialisiert, die Innovationsbedürfnisse der Partnerunternehmen mit dem lokalen und internationalen Ökosystem zu verknüpfen und zu artikulieren. In diesem Kontext ist Wasserstoff eines der aktuellen Schwerpunktthemen. ➤ Liste der Mitglieder: https://clubdeinnovacion.com/membresia/
GIZ https://www.4echile.cl/	Die GIZ leistet seit 1990 einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des Marktes für erneuerbare Energien und berät das chilenische Energieministerium aktiv, um, unter anderem, den regulatorischen Rahmen anzupassen. In dem Zusammenhang bearbeitet die GIZ seit einigen Jahren auch aktiv das Thema der Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Chile und hat dazu auch schon zahlreiche Studien veröffentlicht.
Universidad Católica www.uc.cl	Die Universität forscht u. a. im Bereich Wasserstoffspeicherung durch Absorption und Verwendung von Materialien zur Nutzung des sichtbaren Lichtspektrums (Produktion mit Photokatalyse). Außerdem ist die Universität an einem Pilotprojekt beteiligt, welches darauf abzielt, den Dieselmotor von Bergbau-LKWs so zu modifizieren, dass er eine Mischung aus Diesel und Wasserstoff verwendet.
Universidad de Santiago de Chile www.usach.cl	Die Universität Santiago de Chile forscht an Materialien für die Wasserstoffspeicherung und an der Wasserstoffproduktion mit erneuerbarer elektrischer Energie (Solarmodule und Windturbinen), die in der Brennstoffzelle gespeichert und verbraucht wird. Außerdem hat die Universität Ende 2020 ein Diplom zu Wasserstoffwirtschaft (Diplomado en Economía del Hidrógeno) eingeführt. Zusätzlich ist sie an einem Konsortium zur Implementierung von Hybrid-Fahrzeugen im Bergbau beteiligt, deren Motoren sowohl mit Diesel als auch mit Wasserstoff betrieben werden können.

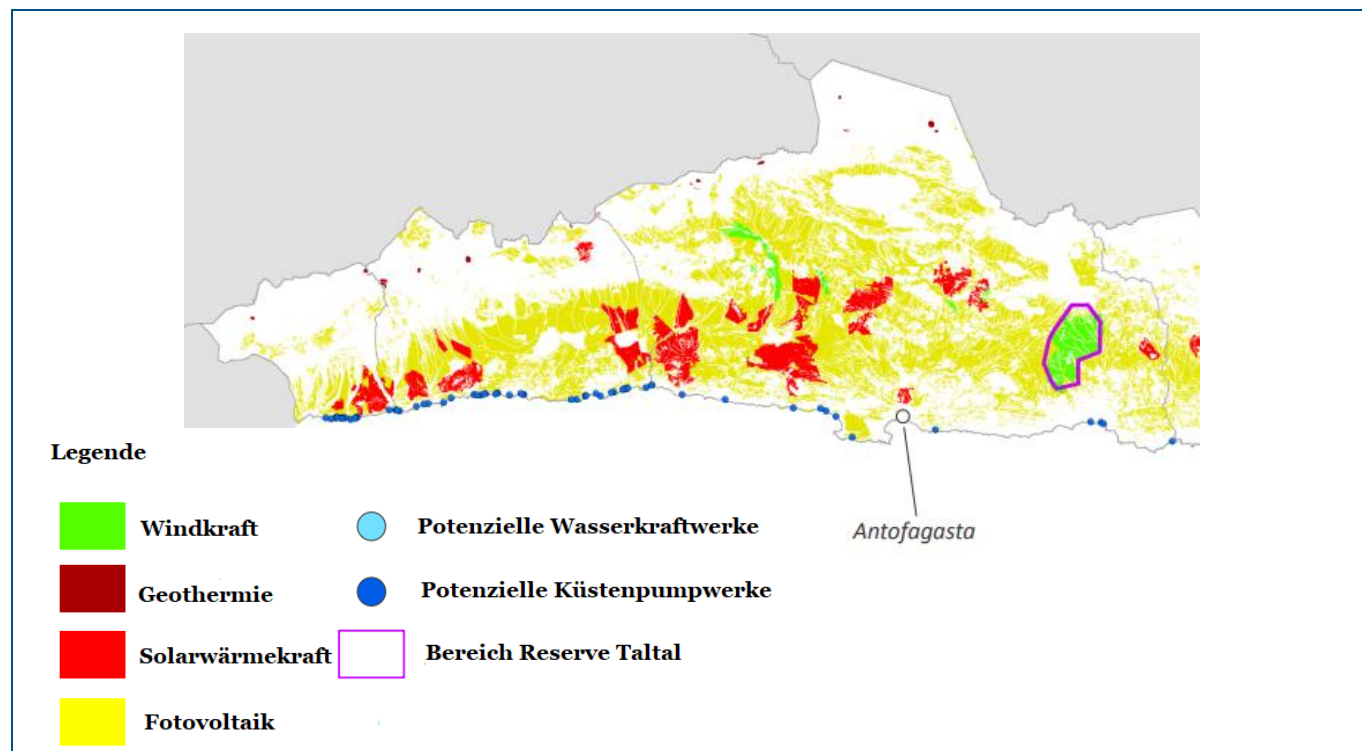
Universidad Federico Santa María www.usm.cl	<p>Die Universität hat zwei Arbeitslinien im Bereich Wasserstoff. Die erste beschäftigt sich mit der Wasserstoffproduktion und den damit verbundenen Technologien und Rohstoffen. Der zweite Arbeitsbereich bezieht sich auf die Anwendung von Wasserstoff in Verbrennungssystemen. In diesem Zusammenhang ist sie an einem internationalen Konsortium beteiligt, welches Frontlader im Bergbau mit Brennstoffzellen ausstatten will. Darüber hinaus hat die Universität im November 2020 ein Diplom zu angewandten grünen Wasserstofftechnologien (Diplomado Tecnologías Aplicadas en Hidrógeno Verde) auf den Weg gebracht.</p>
Universidad Andrés Bello www.unab.cl	<p>Forschung im Bereich Wasserstoffspeicherung durch Adsorption in nanostrukturierte Materialien und Katalysatormaterialien für Wasserstoffbrennzellen.</p>
Universidad Católica de Valparaíso www.uchile.cl	<p>Forschung im Bereich Produktion von Bio-Wasserstoff als erneuerbare Energiequelle und Wasserstoffherstellung durch anaerobe Prozesse.</p>
Universidad de Chile www.uchile.cl	<p>Forschung an biologischen Zellen, Festoxidzellen und photoelektrochemischen Zellen, Wasserstoffherstellung aus Gasreformierung oder Vergasung und Entwicklung von Materialien für Elektroden und Festoxidelektrolyseur. Forschung zur Herstellung von Wasserstoff, hauptsächlich aus Vergasungs- oder Gasreformierungsprozessen.</p>
Universidad de Concepción www.udec.cl	<p>Die Concepción-Universität untersucht Materialien zur Beschleunigung der katalytischen Reaktionen der Umwandlung von Biomasse-Synthesegas in Methan. Außerdem forscht sie an einem Design von Metalllegierungen und nanopartikulären Materialien für das Design von Katalysatoren, die CO₂ mit nachhaltigem Wasserstoff in Methanol umwandeln.</p>
Universidad de la Frontera www.ufro.cl	<p>Die Universität de la Frontera untersucht die Wasserstofferzeugung und -speicherung aus Windkraft- und Solaranlagen</p>

5. Wirtschaftliche Machbarkeit

Vor allem durch die sehr guten natürlichen Gegebenheiten für erneuerbare Energien in Chile und die in der Nationalen Wasserstoffstrategie vorgegebenen Ziele zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft besteht für die Technologie ein hohes Potenzial in Chile. Zu den Zielen der chilenischen Wasserstoffstrategie gehören insgesamt 5 Mrd. USD internationale Investitionen im Bereich Wasserstoff in Chile, 5 GW installierte Elektrolyseleistung bis 2025 und 25 GW bis 2030 und eine Produktion von 200 Kilotonnen Wasserstoff pro Jahr.¹⁷

Chile weist generell ein hohes Potenzial für erneuerbare Energien auf, vor allem in den Bereichen Solarenergie, Windenergie und Wasserkraft. Elektrizität aus erneuerbaren Energien ist in Chile heute schon wettbewerbsfähig gegenüber Elektrizität aus konventionellen Kraftwerken. Um das langfristige Potenzial zu ermitteln, hat das chilenische Energieministerium eine Studie zur Ermittlung des Potenzials der jeweiligen erneuerbaren Energien durchgeführt.

Abbildung 2: Potenzial für erneuerbare Energien im Norden Chiles¹⁸



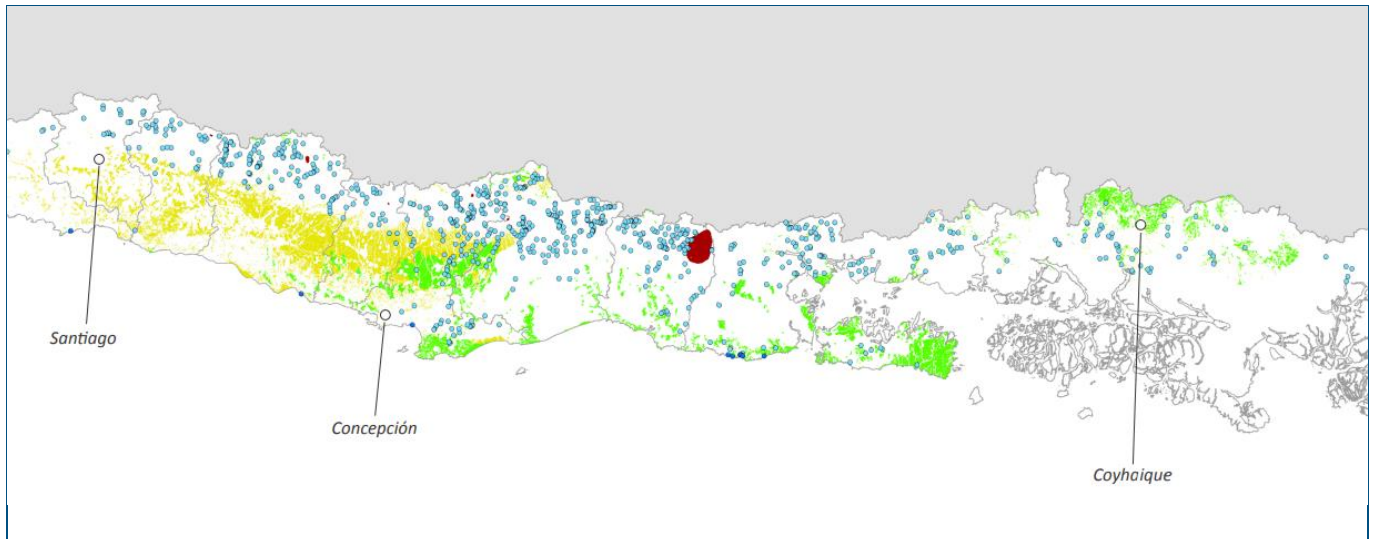
Wie in der Abbildung 2 zu sehen, besteht im Norden vor allem ein sehr hohes Potenzial für Sonnenenergie, aber in bestimmten Regionen auch für Windkraft. Das Potenzial für die Produktion von grünem Wasserstoff ist in den nördlichen Regionen, in der Atacama-Wüste, am größten, da dort durch die idealen Bedingungen für Solar- und Windstrom Elektrizität aus erneuerbaren Energien mit am günstigsten produziert werden kann.

Allerdings sind die meisten Bergbauunternehmen im Norden angesiedelt. Diese sind zunehmend daran interessiert, klimaneutrale Rohstoffe gewinnen zu können. Die Ersetzung von Technologien, die derzeit fossile Rohstoffe benötigen, durch Technologien, die die Verwendung von grünem Wasserstoff ermöglichen, ist aufgrund seiner geringen Kosten im Vergleich zu fossilen Rohstoffen von großem Vorteil.

¹⁷ Ministerio de Energía (2021): Estrategia hidrogeno verde Chile, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/1_-_estrategia_-_camilo_aviles_min_energia.pdf (Abruf vom 21.11.2022).

¹⁸ Ministerio de Energía (2021): Potenciales de Energias Renovables PELP 2023-2027, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/potencial_renovable_-_pelp2023-2027_ago2021.pdf (Abruf vom 10.11.2022).

Abbildung 3: Potenzial für erneuerbare Energien im Süden Chiles¹⁹



In den südlichen Regionen des Landes besteht vor allem Potenzial für Wasserkraft und Windenergie. Hauptsächlich dort in den Bergregionen sind die großen Wasserkraftwerke installiert. Das Potenzial befindet sich vor allem in den Küstenregionen über den südlichen Teil des Landes verteilt.

Insgesamt beziffert das chilenische Energieministerium das Potenzial für erneuerbare Energien auf 1.384 GW, davon mit 829 GW den größten Anteil in der Photovoltaik. Im Bereich Solar-CSP wird ein Potenzial von 510 GW gesehen, bei der Windkraft 37 GW, bei der Wasserkraft 6 GW und bei Geothermie 2 GW. Bisher ist in Chile insgesamt lediglich eine Stromerzeugungskapazität mit erneuerbaren Energien von 5 GW installiert.²⁰

Von der Regierung werden immer wieder öffentliche Ausschreibungen für die Entwicklung von Projekten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff ausgeschrieben. Im Jahr 2021 wurden beispielsweise 30 Mio. USD für ein oder mehrere Projekte bereitgestellt, die mehr als 10 MW produzieren und bis spätestens Ende 2025 betriebsbereit sein sollen. Im Allgemeinen können sowohl nationale als auch ausländische Unternehmen diese Mittel beantragen.^{21,22}

Für die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien spielen naturgemäß auch andere Faktoren wie die Infrastruktur eine Rolle. Für den potenziellen Export von Wasserstoff in den Regionen Antofagasta und Atacama besteht Infrastruktur in Form von Erdgaspipelines und des Flüssiggasterminals Mejillones, welches hierzu genutzt werden könnte. In diesen Regionen gibt es zudem zahlreiche Bergbau-Projekte, bei denen der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien dezentral erzeugt und genutzt werden könnte.

Für chilenischen Wasserstoff werden nach verschiedenen Berechnungen geringere Kosten vorausgesagt als grüner Wasserstoff aus den USA oder Australien.²³ Auch gibt es Bestrebungen, einen größeren Teil der Wertschöpfungskette im Land zu halten und beispielsweise Elektrolyseurhersteller und Hersteller weiterer Komponenten für die Wasserstoffherzeugung, Speicherung und Anwendung dazu zu bringen im Land zu produzieren.

¹⁹ Ministerio de Energía (2021): Potenciales de Energías Renovables PELP 2023-2027, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/potencial_renovable_-_pelp2023-2027_ago2021.pdf (Abruf vom 10.11.2022).

²⁰ Energía Abierta (2019): *Reporte Mensual ERNC Julio 2019*, S. 2, unter: https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/07/RMensual_ERNC_v201907.pdf (Abruf vom 08.01.2021).

²¹ Ministerio de Energía (2021): Gobierno abre convocatoria para desarrollar proyectos de hidrógeno verde en Chile, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-abre-convocatoria-para-desarrollar-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-chile> (Abruf vom 22.11.2022)

²² CORFO (2021), Primer llamado al financiamiento de proyectos de Hidrógeno Verde en Chile, unter: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/hidrogeno-verde-chile> (Abruf vom 22.11.2022).

²³ Innergreen (2022): Evaluación del efecto del llamado de CORFO en el apalancamiento de proyectos Hidrógeno Verde y el retorno social de los proyectos beneficiarios: Efecto del financiamiento CORFO en el apalancamiento de los proyectos beneficiados, y beneficio social, unter: <https://h2news.cl/wp-content/uploads/2022/08/Paper-InnerGreen-Descarga.pdf> (Abruf vom 09.12.2022).

Diese Vorteile des chilenischen grünen Wasserstoffs gelten natürlich auch für die Anwendung im Land selbst. Es wird davon ausgegangen, dass im Norden Chiles, wo sich die meisten großen Bergbauprojekte befinden, schon im Jahr 2025 für 1,2-1,4 USD/kg grüner Wasserstoff produziert werden kann.²⁴

Von den bisher angekündigten Projekten im Bergbau ist nicht von allen eine Investitionssumme bekannt, jedoch bewegen sich die Projekte für Export oder lokale Verwendung in Industrie und Raffinerien zwischen 1,9 und 3,0 USD pro MWh Elektrolyseleistung.

5.1. Förderprogramme und Finanzierungsmöglichkeiten

Chilenische Förderprogramme, steuerliche Anreize und Finanzierungsmöglichkeiten

Zur Erreichung der Ziele, die im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2025 bzw. 2030 festgelegt wurden (5 Mrd. USD internationale Investitionen in Wasserstoffprojekte in Chile, 5 GW installierte Elektrolyseleistung bis 2025 und 25 GW bis 2030 und eine Produktion von 200 Kilotonnen Wasserstoff pro Jahr), hat das Energieministerium zusammen mit der Nationalen Wirtschaftsförderungsgesellschaft CORFO einen Prozess angestoßen, um konkrete Förderprogramme für die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft in Chile zu entwickeln.

Als ersten Schritt hat CORFO im Oktober 2020 formell einen globalen Request for Information (RFI) gestartet, um eine Übersicht der konkreten Projekte zu bekommen, die nationale und internationale Konsortien im Bereich Erzeugung, Transport, Lagerung und Anwendung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten in Chile planen. Dieser Prozess wurde am 9. Dezember 2020 abgeschlossen. Es wurden insgesamt 18 Projekte eingereicht mit einem Investitionsvolumen von ca. 12 Mrd. USD, die sich hauptsächlich in den Regionen Antofagasta und Calama ansiedeln würden. Basierend auf diesen Resultanten werden innerhalb der nächsten Monate konkrete Förderprogramme entwickelt, um die Umsetzung der Projekte zu beschleunigen.²⁵

Nachfolgend werden einige der Förderinstrumente aufgezählt:

- CORFO arbeitet aktuell an verschiedenen Finanzierungsinstrumenten für H₂-Projekte. Im Rahmen der COP 27 haben sich die Weltbank und IDB mit dem chilenischen Finanzministerium geeinigt Chile einen Kredit von 750 Mio. USD für grüne H₂-Projekte zur Verfügung zu stellen.²⁶ Gemäß den Aussagen der Leiterin des Green Hydrogen Council bei Corfo soll der Betrag, den die Weltbank (150 Mio. USD) leiht, als Kredit zur Finanzierung von Elektrolyseuren bereitgestellt werden.²⁷ Die IDB soll 400 Mio. USD in Form von Krediten bereitstellen. Genauere Details zu den Finanzierungsinstrumenten werden jedoch aktuell noch ausgearbeitet. Bis Ende des Jahres 2023 sollen diese Mittel voraussichtlich zur Verfügung stehen.²⁸
- Der Accelerator für grünen Wasserstoff, ein Programm von der Agencia de Sostenibilidad Energética, das im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie ins Leben gerufen wurde, hat eine Ausschreibung für die Kofinanzierung von grünen H₂-Projekten in zwei Phasen ausgeschrieben:²⁹

I. Kofinanzierung zur Unterstützung der Entwicklung fortgeschrittener Machbarkeitsstudien: Die Agentur wird mit einer direkten Zahlung an den Berater die Studien von 5 Unternehmen finanzieren und bis zu 70% des Budgets für die Entwicklung des Engineerings mit einer Obergrenze von 30.000.000 CLP (30 Mio. chilenische Pesos) abdecken.

²⁴ Ministerio de Energía (2020): *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

²⁵ CORFO (2021): *RFI Hidrógeno Verde*, unter: https://www.corfo.cl/sites/cpp/rfi_hidrogeno_verde (Abruf vom 05.01.2023).

²⁶ H₂ Chile (2022): *BID y Banco Mundial disponen financiamiento por hasta US\$750 millones para proyectos de Hidrógeno Verde en Chile*, unter: <https://h2chile.cl/bid-y-banco-mundial-disponen-financiamiento-por-hasta-us750-millones-para-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-chile/> (Abruf vom 31.1.2023).

²⁷ Interview mit Ana María Ruz Frías, Leiterin des Grünen H₂-Ausschusses, CORFO, am 20.01.2023

²⁸ Reporte Minero (2023): *Corfo y BID afinan condiciones del crédito que impulsará la industria de hidrógeno verde en Chile*, unter: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2023/01/corfo-bid-condiciones-credito-industria-hidrogeno-verde> (Abruf vom 02.01.2023).

²⁹ Agencia SE, Acceleradora AH₂V (2023), unter: <https://www.agenciase.org/aceleradora-h2v/> (Abruf vom 24.01.2023).

II. Kofinanzierung der Projektdurchführung: Eine Kofinanzierung in Höhe von etwa 800.000.000 CLP (800 Mio. chilenische Pesos) wird für Investitionen in mindestens ein und höchstens vier Projekte bereitgestellt. Sie hat eine Laufzeit von 12 Monaten.

Bewerbungen werden bis zum 5.3.2023 entgegengenommen. Für weitere Informationen: <https://www.agenciase.org/aceleradora-h2v/>

- Im Rahmen der Nationalen Strategie für grünen Wasserstoff und der auf der COP 26 in Glasgow (Schottland) eingegangenen Verpflichtungen sowie der Politik des Ministeriums für Nationale Güter, die Entwicklung dieses Kraftstoffs auf öffentlichem Grund zu fördern, kündigten das Ministerium für Nationale Güter und das Ministerium für Energie gemeinsam die Eröffnung eines beispiellosen Prozesses mit der Bezeichnung „Fenster zur Zukunft“ an, um durch Konzessionen öffentliches Land für die Errichtung von Anlagen zur Produktion von grünem Wasserstoff (H₂v) bereitzustellen. Dieses Verfahren besteht aus einer Aufforderung an Firmen, die an der Entwicklung von Projekten für grünen Wasserstoff interessiert sind, Anträge auf direkte Zuteilung von Konzessionen für die Nutzung von öffentlichem Eigentum für einen Zeitraum von bis zu 40 Jahren für den Bau von Anlagen zur Herstellung von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten (wie grünem Ammoniak) sowie für die zu diesem Zweck erforderlichen Dienstbarkeiten einzureichen. Die Projekte müssen eine Mindestproduktionskapazität (20 MW Elektrolyseurleistung) haben und spätestens 2025 mit dem Bau beginnen. Die Frist für die erste Runde zur Einreichung von Anträgen für diese öffentlichen Grundstücke ging am 14. Januar 2022 zu Ende. Es steht noch aus, ob sich solch ein Verfahren wiederholen wird.
- Im Januar 2021 wurde bekannt gegeben, dass das Konsortium Associated Universities Inc. (AUI) den Zuschlag für die internationale Ausschreibung für die Bildung des chilenischen Clean Technologies Institute bekommen hat. Dieses Institut soll in Kollaboration mit internationalen Partnern in Chile gegründet werden, um sich aktuellen Innovationsthemen wie der emissionsarmen Rohstoffgewinnung, der Weiterverarbeitung von strategisch wichtigen Rohstoffen wie Lithium und der Nutzung von Solarenergie zu widmen.³⁰ In Bezug auf die Solarenergie soll der Fokus u. a. auf nachhaltigen Wasserstoff, dessen Produktion, Lagerung, Transport und Distribution gelegt werden. Ziele und Aufgaben des Chilean Clean Technology Institute sind: die technologische Entwicklung und die Forschung mit industriellem Fokus (TRL > 6), Pilotprojekte, Standardisierung und Zertifizierung, Personalentwicklung, Förderung von Entrepreneurship und technologiebasierender Innovation. Für die ersten zehn Jahre ist ein Basisfonds von 194 Mio. USD mit zusätzlichen Beiträgen von 30% (monetär und nicht-monetär) durch Partner eingeplant. Es wird erwartet, dass das Clean Technology Institute bis zum Jahr 2030 zu einem Zentrum für Entrepreneurship und Innovation von globaler Reichweite wird.

In Chile gibt es verschiedene Finanzierungsmöglichkeiten für Energieprojekte, worunter auch Projekte zur Energiespeicherung fallen:

Kredite

Die am häufigsten verwendete Methode zur Finanzierung von Projekten ist der Kredit. Die chilenischen Banken bieten verschiedene Arten von Krediten an, deren Konditionen je nach Unternehmen und Projekt variieren. In der Regel ist die Finanzierung von Energieprojekten bei einem kommerziellen Kredit maßgeblich durch die angebotene Laufzeit begrenzt. Die finanzielle Absicherung des Kreditnehmers hat auch einen wesentlichen Einfluss auf die damit verbundenen Kreditkonditionen, denn je geringer die finanzielle Absicherung des jeweiligen Unternehmens, desto größer ist das von der Bank wahrgenommene Risiko bei der Kreditvergabe. Bei der Umsetzung eines Energieprojekts zum Eigenverbrauch durch einen Bankkredit ist der Kreditnehmer (in der Regel der Kunde) der Eigentümer der Anlage und allein verantwortlich für deren Betrieb und Wartung (sofern nicht andere Leistungen vertraglich mit dem Bauherrn/der Installationsfirma vereinbart sind). Die Ströme des Projekts selbst (z. B. erzielte Energieeinsparungen) werden in der Regel nicht in die Finanzströme des kreditnehmenden Unternehmens einbezogen.

³⁰ Corfo (2018): *International Call for Chilean Clean Technologies Institute*, unter: https://www.oecd.org/dev/Corfo-Session_7_Chilean-Clean_Technologies_Institute.pdf (Abruf vom 22.01.2023).

Im Jahr 2017 lancierte die KMU-Abteilung der Staatsbank Banco Estado einen speziellen Kredit für Projekte im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz, der sich an Personen und KMUs richtet. Im Falle von Unternehmen erfolgt die Risikobewertung von Seiten der Banco Estado vor allem auf Basis einer Unternehmensbewertung des Kreditnehmers. Die Finanzströme des zu finanzierenden Energieprojekts gehen nur zu 10% in die Risikobewertung ein. Die technische und wirtschaftliche Bewertung der Energieprojekte erfolgt durch die an das Energieministerium gekoppelte Energieagentur (Agencia de Sostenibilidad Energética).³¹

Der Kredit hat eine maximale Laufzeit von 12 Jahren bei wettbewerbsfähigen Festzinsen für den Inlandsmarkt und deckt bis zu 80% des Nettowertes des Projekts ab. Die Voraussetzungen für die Beantragung eines solchen Kredits bei der Banco Estado sind:

- Das Unternehmen muss mindestens zwei Jahre in dem Sektor Bestand haben, für den es den Kredit für das Energieprojekt beantragt.
- Der jährliche Umsatz des Unternehmens muss zwischen 2.400 UF und 40.000 UF liegen.
- Es dürfen keine Steuerschulden vorliegen.

Leasing

In Chile bietet die Banco Santander ein Leasingmodell für Energieprojekte. Hierbei bleibt der Kreditgeber Eigentümer des Vermögenswertes (Erzeugungsanlage) und erhebt Gebühren. Nach der im Vertrag vereinbarten Produktionsmenge an Elektrizität geht die Anlage in der Regel in das Eigentum des Endbenutzers über. In diesem Modell wird das finanzielle Risiko vollständig vom Kreditgeber übernommen, sodass die damit verbundenen finanziellen Kosten wahrscheinlich höher sind als bei einem herkömmlichen Kredit. Der Endverbraucher ist bis zum Ende des Leasingvertrags und nach Bezahlung aller Verpflichtungen rechtlich nicht Eigentümer der Anlage. Das von der Banco Santander angebotene Leasingprodukt ist vor allem für ESCO-Unternehmen (siehe unten) interessant. Hierbei ist zu beachten, dass der Endverbraucher, der einen Kaufvertrag mit der Bank eingeht, über eine stabile finanzielle Basis verfügt. Weitere Informationen sind unter folgendem Link verfügbar:

https://www.santander.com/csgs/Satellite/CFWCSancomQP01/es_ES/Corporativo/Sostenibilidad/Santander-y-la-sostenibilidad/Financiacion-de-energias-renovables.html.

Tabelle 2: Finanzinstitutionen, die Energievorhaben in Chile unterstützen³²

Lokale Institutionen	Banco BICE, Banco de Crédito e Inversiones, Banco Itaú Chile, Banco de Chile, Banco Security, Banco Santander-Chile, Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, Chile, Corpbanca y BancoEstado
Internationale Institutionen	KfW-Bankengruppe, Banco del de Desarrollo Latinoamericano, Banco Espirito Santo de Inversión S.A., New York Branch, Credit Agricole Corporate & Investment Bank, DnB, Banco Interamericano de Desarrollo, Inter-American Investment Corporation, Deutsche Bank, La Caixa

Deutsche Förderprogramme

Im Rahmen der Veröffentlichung der deutschen Wasserstoffstrategie hat der deutsche Staat 2 Mrd. EUR für internationale Partnerschaften bereitgestellt. Das BMWK hat verschiedene Förderinstrumente veröffentlicht, um die Entwicklung von Wasserstoffprojekten anzutreiben und den internationalen Markthochlauf im Sinne der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung zu unterstützen. Für Unternehmen mit Hauptsitz in der Europäischen Union und einer Betriebsstätte oder Niederlassung in Deutschland hat das BMWK ein Förderprogramm ausgeschrieben, bei dem sich Firmen für eine Finanzierung von bis zu 15 Mio. EUR pro Projekt bewerben können. Hierbei handelt es sich um nicht rückzahlbare Zuschüsse. Das Förderprogramm soll den Aufbau von Handelsbeziehungen mit potenziellen Exporteuren von grünem

³¹ Agencia de Sostenibilidad Energética (2022): *Banco Estado tiene disponible créditos para la PYME y personas*, unter: <https://www.agenciase.org/bancoestado/> (Abruf vom 04.04.2022).

³² Die Vollständigkeit und Aktualität der Angaben sind ohne Gewähr.

Wasserstoff und seinen Derivaten begünstigen und es können prioritär Projekte in Energiepartnerschaftsländern finanziert werden, zu denen auch Chile zählt.³³ Darüber hinaus können auch Projekte in weiteren Ländern finanziert werden.

Förderung im Rahmen bilateraler Zusammenarbeit

Bereits seit dem Jahr 2004 konzentriert sich die bilaterale Zusammenarbeit zwischen Chile und Deutschland verstärkt auf die Themenbereiche erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Im Rahmen des Berlin Energy Transition Dialogue im April 2019 unterzeichneten Deutschland und Chile außerdem ein wichtiges Kooperationsabkommen zur Energiepartnerschaft mit dem Ziel, einen Austausch über die wichtigsten Themen im Energiesektor zwischen den beiden Ländern zu fördern. Eine enge Zusammenarbeit wird insbesondere in den drei Bereichen erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Reduzierung des Kohlenstoffausstoßes angestrebt. Ein Lenkungsausschuss mit Vertretern beider Regierungen trifft sich einmal im Jahr für eine Definition der großen Ziele.³⁴

Die zentrale Institution für die Finanzkooperation ist die KfW Entwicklungsbank. Neben der KfW bietet die KfW-eigene Deutsche Investitions- und Entwicklungsgesellschaft (DEG) Projektfinanzierung für Projekte an. Die DEG bietet langfristige Investitionen (für ca. 15 Jahre) ab 60 Mio. EUR an und die Finanzierung beläuft sich generell auf 1/3 des Investments.³⁵

5.2. Öffentliche Vergabeverfahren und Ausschreibungen für Projekte

In Chile werden öffentliche Aufträge im Rahmen von offenen Ausschreibungen vergeben, an denen ausländische Unternehmen grundsätzlich unter den gleichen Bedingungen wie nationale teilnehmen können. Eine Marktbarriere stellt der erhöhte Bürokratieaufwand bei Vergabeverfahren dar. Insbesondere bei komplexen Projektausschreibungen ist der Dokumentationsaufwand oft erheblich, da eine erfolgreiche Teilnahme die fehlerfreie und komplette Einreichung der Ausschreibungsunterlagen sowie gegebenenfalls lokale Referenzen und mehrjährige Präsenz im chilenischen Markt erfordert. Informationen über aktuelle Ausschreibungen finden sich auf dem Internetportal von CORFO: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/programasyconvocatorias> und „Mercado Público“, auf welchem über 850 öffentliche Institutionen täglich Geschäftsmöglichkeiten für Unternehmen jeder Größe veröffentlichen: www.mercadopublico.cl.

³³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021), Bekanntmachung der Förderrichtlinie für internationale Wasserstoffprojekte im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie und des Konjunkturprogramms: Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken, unter: https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/8067/live/lw_bekdoc/20210410-pm-sachstand-foerderrichtlinie.pdf (Abruf vom 04.04.2022).

³⁴ Die Botschaft der Republik Chile in Deutschland (2019): *Chile und Deutschland unterzeichnen Abkommen zur Energiepartnerschaft*, unter: <http://www.echile.de/index.php/de/wirtschaft/672-chile-und-deutschland-unterzeichnen-wichtiges-abkommen-zur-energiepartnerschaft> (Abruf vom 14.05.2020).

³⁵ Ein Überblick über alle Programme und detaillierte Informationen finden sich unter: <https://www.deginvest-americalatina.com/#financiacion/> (Abruf vom 04.04.2022).

6. Technische Lösungsansätze

Der Bergbausektor hat für Chile traditionell eine große Bedeutung und es ergeben sich für die Anwendung von Wasserstoff neben dem generell hohen Energieverbrauch auch Anwendungsmöglichkeiten durch die Bestrebungen, die Produktion klimaneutraler zu gestalten. Im Jahr 2021 hat der Bergbau 8% zum chilenischen BIP beigetragen³⁶ und Metalle aus der Bergbauproduktion hatten im Jahr 2021 einen Anteil von 62% an den Exporten Chiles.³⁷

Chile ist weltweit der führende Produzent von Kupfer, Jod, Rhenium und natürlichen Nitraten. Es ist auch der zweitgrößte Produzent von Molybdän, Lithium und Bor sowie der fünftgrößte von Silber und der siebtgrößte von Kaliumverbindungen.³⁸ Darüber hinaus beherbergt es u. a. 51% der Lithiumreserven der Welt, 23% der Kupferreserven, 10% der Jodreserven, 5% der Silberreserven und 8% der Molybdänreserven.³⁹

Beim wichtigsten Bergbauprodukt Chiles, dem Kupfer, hat der staatliche Bergbaukonzern CODELCO einen Anteil von ca. 28% an der Produktion, 72% machen private Bergbauunternehmen aus.⁴⁰

Die meisten Bergbauprojekte finden sich in der Atacama-Wüste, was es nötig macht, den hohen Wasserbedarf mit Meerwasserentsalzungsanlagen zu decken und das Wasser häufig noch in höher gelegene Regionen zu pumpen. Zum einen benötigt dies sehr viel Energie, zum anderen steht durch diese Prozesse Wasser für die Elektrolyse zur Verfügung. Dabei würde bei einem kompletten Ersatz der bisher eingesetzten fossilen Energieträger durch Wasserstoff der Bedarf an Wasser für die Elektrolyse nur 1% des Gesamtwasserbedarfs im Bergbau ausmachen.⁴¹ Eine Karte aller Bergbauprojekte im Land findet sich unter <https://www.sonami.cl/mapaminero/>.

Außerdem ist die Sonneneinstrahlung in der Atacamaregion sehr hoch und kaum durch Wolken gestört, was die Erzeugung von Elektrizität aus Solarenergie begünstigt. Für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bieten sich vor allem CSP-Anlagen an, da sie durchgehend Strom erzeugen können, was bei Photovoltaik-Anlagen nicht der Fall ist.⁴²

Allein durch den Einsatz von Wasserstoff im Bergbau können potenziell 20% der CO₂-Emissionen Chiles eingespart werden, um perspektivisch das Ziel von Null-Emissionen zu erreichen. Es wird seitens des Energieministeriums aber auch das Potenzial gesehen, durch den Einsatz von Wasserstoff im Bergbau die Produktivität zu erhöhen und die Produktion insgesamt effizienter zu gestalten.⁴³

Der Einsatz von Wasserstoff ist in verschiedenen Bereichen im Bergbau in Chile möglich. Durch die isolierte Lage vieler Minen ist vor allem der Ersatz von Diesel interessant. Neben dem Einsatz im Bereich Transport in Bergbau-LKW als Diesel-Hybrid oder mit Brennstoffzelle bietet sich der Einsatz als Energiequelle bei Kommunikationssystemen und für Pumpen in Brunnen zur Wasserextraktion an. Da Brennstoffzellen nicht so anfällig für Temperaturschwankungen sind, können bei

³⁶ Banco Central de Chile (2022): Base de datos estadísticos – Cuentas Nacionales, unter: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_PIB_HIST_MIN/637159153139541991?cbFechaInicio=2021&cbFechaTermino=2021&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase= (Abruf vom 25.11.2022).

³⁷ Banco Central de Chile (2022): Base de datos estadísticos – Sector externo, unter: https://si3.bcentral.cl/siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_BDP/MN_BDP42/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2021&cbFechaTermino=2021&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase= (Abruf vom 25.11.2022).

³⁸ Sernageomin (2022): *Anuario de la Minería 2021*, https://www.sernageomin.cl/pdf/Anuario_de_la_mineria_de_chile_2021_v_30062022.pdf (Abruf vom 25.11.2022).

³⁹ Consejo Minero (2022). *Cifras actualizadas de la minería*, <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2022/07/Cifras-Actualizadas-de-la-Mineria-2022-Junio.pdf> (Abruf vom 22.11.2022).

⁴⁰ Consejo Minero (2022). *Cifras actualizadas de la minería*, <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2022/07/Cifras-Actualizadas-de-la-Mineria-2022-Junio.pdf> (Abruf vom 22.11.2022).

⁴¹ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2018): *Tecnologías de Hidrógeno y Perspectivas para Chile*, S. 95, unter: <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/04/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> (Abruf vom 16.08.2019).

⁴² Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2018): *Tecnologías de Hidrógeno y Perspectivas para Chile*, S. 95, unter: <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/04/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> (Abruf vom 16.08.2019).

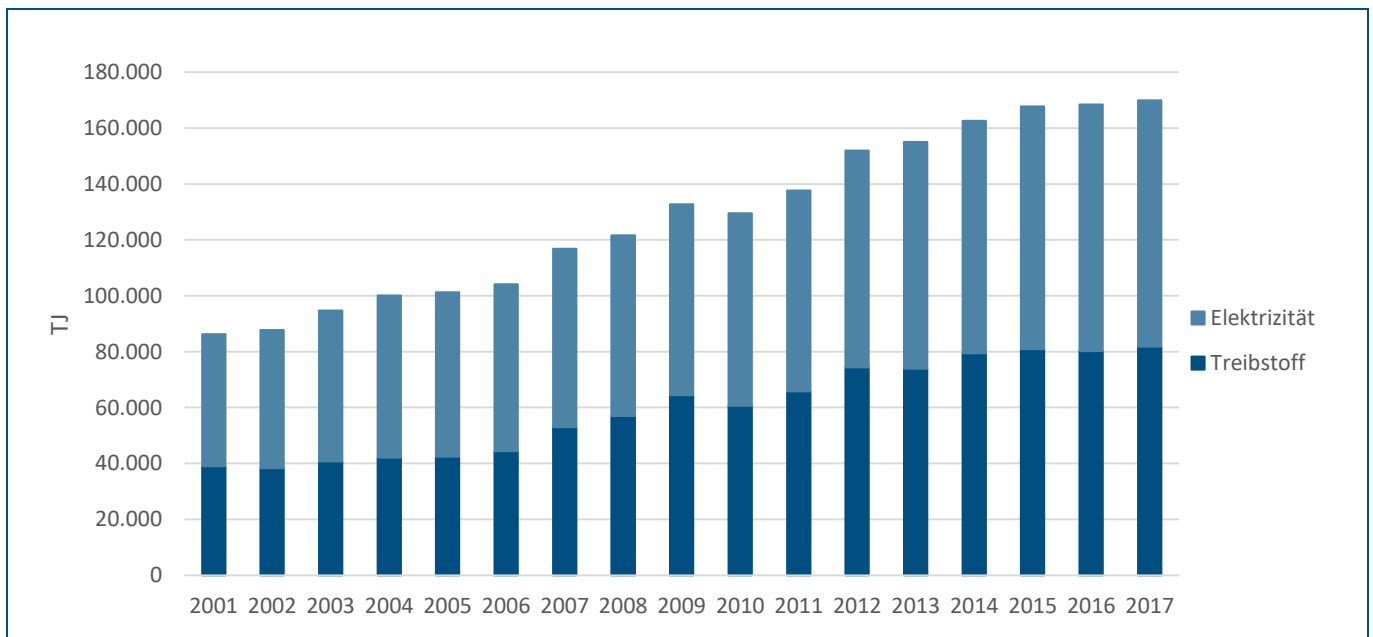
⁴³ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2018): *Tecnologías de Hidrógeno y Perspectivas para Chile*, unter: <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/04/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> (Abruf vom 19.08.2019).

⁴³ Revista Electricidad (2019): *Foronor 2019 - hidrógeno verde en minería aportaría 20% en meta de carbono neutralidad*, unter: <http://www.revistaeci.cl/2019/10/02/foronor-2019-hidrogeno-verde-en-mineria-aportaria-20-en-meta-de-carbono-neutralidad/#> (Abruf vom 01.11.2019).

extremere Klimabedingungen die Effizienzvorteile von Brennstoffzellen gegenüber Dieselmotoren die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes erhöhen.⁴⁴

Der Bergbausektor hat einen Anteil am Gesamtprimärenergiekonsum in Chile von 16%. Der Energiebedarf im Bergbau wird dabei etwa zu gleichen Teilen von Elektrizität und Treibstoff abgedeckt.

Abbildung 4: Energieverbrauch im Bergbausektor Chiles⁴⁵



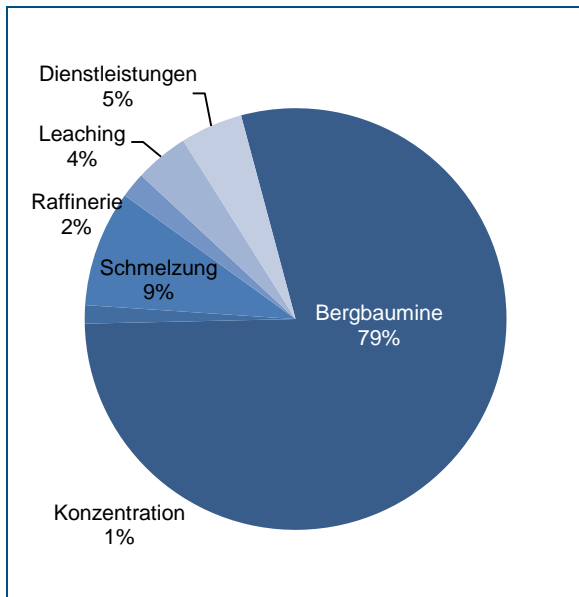
Wie in der obenstehenden Abbildung zu erkennen ist, ist der Energiebedarf im chilenischen Bergbausektor in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Er lag im Jahr 2017 bei rund 169.923 kJ. Dabei ist der Bedarf an Treibstoffen anteilig ungefähr gleichgeblieben. In den Kupferminen Chiles wurden im Jahr 2017 typischerweise 88,7% Diesel, 5,9% Erdgas, 4,6% Schweröl, 0,5% Kerosin und 0,3% weitere Brennstoffe verwendet.⁴⁶

⁴⁴ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2018): *Tecnologías de Hidrógeno y Perspectivas para Chile*, S. 96, unter: <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/04/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> (Abruf vom 19.08.2019).

⁴⁵ Comisión Chilena del Cobre (2018): *Estadísticas Consumo de Energía de la Minería del Cobre al año 2017*, unter: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Energ%C3%ADa-y-GEL.aspx> (Abruf vom 07.08.2019).

⁴⁶ Comisión Chilena del Cobre (2018): *Consumo de energía y recursos hídricos en la minería del cobre al 2017*, S. 10, unter: [https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20\(2018\).pdf](https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20(2018).pdf) (Abruf vom 16.08.2019).

Abbildung 5: Konsum von Brennstoffen in verschiedenen Bergbau-Prozessen⁴⁷



In der obenstehenden Abbildung ist zu sehen, dass der überwiegende Anteil der Brennstoffe, nämlich 79%, bei Prozessen in der Mine verbraucht wird. Nachgelagerte Prozesse wie Schmelzung, Leaching, Konzentration, Raffinerie und weitere Dienstleistungen machen zusammen nur 21% des Verbrauchs an Brennstoffen aus. Die Prozesse in der Bergbaumine sind vor allem die Abbauprozesse, der Transport der Erze in der Mine und die Vorzerkleinerung.⁴⁸

Der Einsatz von Wasserstoff in Bergbau-LKW mit Zuladekapazität von über 50 Tonnen hätte einen wesentlichen Einfluss auf CO₂-Reduktionen im Bergbau-Sektor, da der Dieselverbrauch eines LKW bei 100-300 Litern pro Stunde liegt, je nach Größe des LKW, Zuladung, Geschwindigkeit und geografischen Gegebenheiten.⁴⁹ Der aktuelle Bestand von Bergbau-LKW in Chile liegt bei 1.593 Stück.⁵⁰ Die Lebensdauer der Bergbau-LKW liegt zu einem Großteil bei über 20 Jahren, entsprechend werden allerdings jährlich neue LKWs importiert. In der untenstehenden Abbildung sind die Importe von Bergbau-LKW in den letzten Jahren zu sehen.

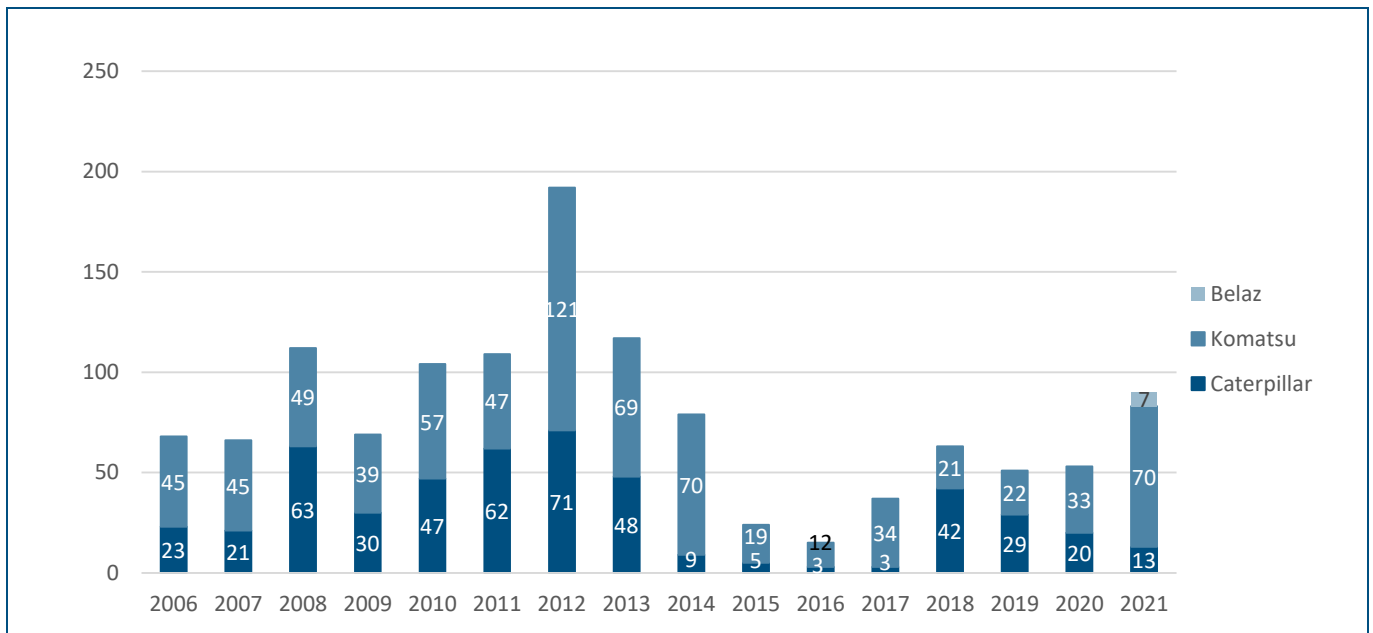
⁴⁷ Comisión Chilena del Cobre (2018): *Estadísticas Consumo de Energía de la Minería del Cobre al año 2017*, unter: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Energ%C3%ADa-y-GEI.aspx> (Abruf vom 07.08.2019).

⁴⁸ Comisión Chilena del Cobre (2018): *Consumo de energía y recursos hídricos en la minería del cobre al 2017*, S. 6, unter: [https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20\(2018\).pdf](https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20(2018).pdf) (Abruf vom 16.08.2019).

⁴⁹ Revista Ingeniería Industrial Año 16 N°2 (2017): *Cálculo del consumo de combustible y emisiones de CO₂ de camiones mineros, mediante simulación discreta*, unter: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/download/3316/3414/> (Abruf vom 15.11.2019).

⁵⁰ Editec (2019): *Equipos Mineros*, unter: https://www.imercados.cl/equipamiento/country_tax/chile/ (Abruf vom 15.11.2019).

Abbildung 6: Anzahl Importe Bergbau-LKW mit über 50 t Ladekapazität⁵¹



Die großen Bergbauunternehmen in Chile haben jeweils CO₂-Reduktionspläne für die nächsten Jahrzehnte veröffentlicht, die meist ambitionierte Reduktionsziele bis 2030 und 2050 vorsehen. Beispielsweise hat der größte Kupferminenbetreiber in Chile, die staatliche Bergbaugesellschaft CODELCO, angekündigt, seine CO₂-Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 2020 um 70% zu reduzieren.⁵²

Bisher angekündigte Wasserstoffprojekte im Bereich Bergbau in Chile:

Zum Einsatz von Wasserstoff in Bergbau-LKW gibt es derzeit in Chile das Projekt Hydra, was durch ein Konsortium der Unternehmen ENGIE, Mining3, Antofagasta Minerals, Mitsui & Co. (USA), Inc, Thies, Ballard Power Systems, Hexagon Purus, Reborn Electric Motors und Liebherr Mining umgesetzt wird. Das Projekt wurde von CSIRO Chile und der staatlichen Wirtschaftsfördergesellschaft CORFO finanziert und hat im Januar 2022 einen ersten Prototyp für einen Antriebsstrang auf Basis einer Brennstoffzelle vorgestellt. Außerdem wurden im September weitere Versuche in der Bergbauminer Centinela des Bergbauunternehmens Antofagasta Minerals durchgeführt.^{53 54}

Des Weiteren betreibt AngloAmerican seit 2021 in einem Logistikzentrum nördlich von Santiago eine Wasserstofftankstelle für Gabelstapler, die 2 kg Wasserstoff aus Solarstrom erzeugt. Die Solaranlage hat insgesamt eine Leistung von 186 kWp.⁵⁵

Der größte staatliche Kupferproduzent Chiles, der staatliche Konzern CODELCO, hat ein Projekt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Metallurgietechnik der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universidad de Concepción angekündigt, bei dem mithilfe von Wasserstoff eine emissions- und abfallfreie Verarbeitung von Kupferkonzentrat durchgeführt werden soll. Außerdem erlaubt der neue Prozess einen um 50% verringerten Energieeinsatz. Bei dem neuen Prozess zur

⁵¹ Comisión Chilena del Cobre (2021): *Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2020)*, S. 34, unter: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Analisis%20Mercado%20de%20los%20Insumos%20Críticos%202021.pdf> (Abruf vom 15.11.2022).

⁵² CODELCO (2020): *Codelco presenta inéditos compromisos de desarrollo sustentable a 2030*, unter: <https://www.codelco.com/prensa/2020/codelco-presenta-ineditos-compromisos-de-desarrollo-sustentable-a-2030> (Abruf vom 25.11.2022).

⁵³ Ministerio de Energía (2022): *En Rancagua presentan prototipo de Hidrógeno Verde para vehículos mineros*, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/libertador-general-bernardo-ohiggins/en-rancagua-presentan-prototipo-de-hidrogeno-verde-para-vehiculos-mineros> (Abruf vom 24.11.2022).

⁵⁴ Portal Minero (2022): *Minera Centinela inicia prueba de prototipo para usar hidrógeno en camiones mineros*, unter: <https://www.portalminero.com/wp/minera-centinela-inicia-prueba-de-prototipo-para-usar-hidrogeno-en-camiones-mineros/> (Abruf vom 24.11.2022).

⁵⁵ AngloAmerican (2021): *Anglo American genera la primera molécula de Hidrógeno Verde para vehículos cero carbono en Chile*, unter: <https://chile.angloamerican.com/media/press-releases/pr-2021/2021-08-23.aspx> (Abruf vom 24.11.2022).

Verarbeitung von Kupferkonzentraten wird ein Oxidationsprozess gefolgt von einer Reduktion mit grünem Wasserstoff und einem anschließenden Trennkreislauf angewandt.^{56 57}

Ein weiteres Projekt von CODELCO wird in Zusammenarbeit mit der Universidad Técnica Federico Santa María durchgeführt und hat zum Ziel, die Verwendung von Wasserstoff in Bergbaufahrzeugen zu erproben.⁵⁸

Außerdem plant BHP Chile eine Elektrolyseanlage mit 13 MW Leistung in Zusammenarbeit mit dem US-amerikanischen Unternehmen eCombustibles. Die Anlage soll Diesel und Erdgas in der Kupfermine Spencer ersetzen – der zweitwichtigsten Kupfermine Chiles – und dort in zwei Kesseln für den Prozess des Electrowinning eingesetzt werden. Die Kessel haben jeweils eine Leistung von 10.550 und 3.000 kW. Der Strom für die Elektrolyse wird aus PPAs mit Anbietern erneuerbaren Stroms bezogen. Die Investition in die Anlage soll 4 Mio. USD betragen.⁵⁹

Ein weiteres Projekt wird von der mittelgroßen Kupfermine Minería San Pedro in Zusammenarbeit mit dem chilenischen Bergbauzulieferer TRA Busso Group und dem Bergbau-Forschungsinstitut Centro Nacional de Pilotaje vorangetrieben. Das Projekt hat zum Ziel, den Konsum von fossilen Brennstoffen zu reduzieren. Hierfür sollen Versuche des Blending mit Erdgas und LPG durchgeführt und perspektivisch die stationären Bergbaumaschinen mit Wasserstoffantrieb ausgestattet werden. Das Projekt hat eine Förderung der chilenischen Energieagentur AgenciaSE von 150 Mio. CLP (ca. 170.000 USD) erhalten und soll 2024 in Betrieb gehen.⁶⁰

7. Relevante rechtliche und politische Rahmenbedingungen

7.1. Regulatorische Rahmenbedingungen

Da eine Wasserstoffwirtschaft in Chile gerade erst in den Anfängen steht, wird der regulatorische Rahmen erst während der nächsten Jahre ausgearbeitet. Aktuell unterliegen Wasserstoffprojekte folgenden Bestimmungen:

- Wasserstoffprojekte können über die Klassifizierung von Sonderprojekten der Aufsichtsbehörde für Strom und Kraftstoffe (Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)) eine Genehmigung zum Bau und zum Betrieb erhalten. Dazu müssen folgende Dokumente präsentiert werden:
 - ✓ Kopie des zu verwendenden ausländischen Standards,
 - ✓ Risikoanalyse,
 - ✓ Berechnungsspeicher,
 - ✓ Konstruktionszeichnungen,
 - ✓ Zertifizierte Materialien und Geräte,
 - ✓ Technische Merkmale der Anlage,
 - ✓ Charakterisierung des Kontextes.

Das chilenische Energieministerium sieht die zeitnahe Ausarbeitung folgender Regulierungen vor:

- Allgemeine Vorschriften für H₂-Installationen (in Entwicklung).
- H₂-Qualitätsvorgaben.
- Vorschriften für Multi-Fuel-Tankstellen.
- Handbuch für H₂-Sonderprojekte.

⁵⁶ Noticias UdeC (2022): UdeC, Corfo y Codelco avanza en piloto para crear cobre con cero emisiones y residuos, unter: <https://noticias.udec.cl/udec-corfo-y-codelco-avanzan-en-piloto-para-crear-cobre-con-cero-emisiones-y-residuos/> (Abruf vom 24.11.2022).

⁵⁷ El Líbero (2022): El invento chileno que podría resolver la crisis que provocará el cierre de Ventanas, unter: <https://ellibero.cl/actualidad/el-invento-chileno-que-podria-resolver-la-crisis-que-provocara-el-cierre-de-ventanas/> (Abruf vom 24.11.2022).

⁵⁸ CODELCO (2020): La revolución del hidrógeno verde parte en El Teniente, unter: <https://www.codelco.com/operaciones/el-teniente/noticias/la-revolucion-del-hidrogeno-verde-parte-en-el-teniente> (Abruf vom 09.12.2022).

⁵⁹ Minería Chilena (2021): BHP entra en la carrera del hidrógeno verde con proyecto piloto en minera Spence, unter: <https://www.mch.cl/2021/01/14/bhp-entra-en-la-carrera-del-hidrogeno-verde-con-proyecto-piloto-en-minera-spence/#> (Abruf vom 24.11.2022).

⁶⁰ Minería Chilena (2022): Proyecto de H₂ en minería gana concurso de hidrógeno verde de la AgenciaSE, unter: <https://www.mch.cl/2022/01/20/proyecto-de-h2-en-mineria-gana-concurso-de-hidrogeno-verde-de-la-agencia-se/> (Abruf vom 24.11.2022).

- H₂-Rohrleitungs- und Verteilungsvorschriften.

Aktuell müssen die Projekte zudem folgende Umweltbestimmungen einhalten:

- Alle Arten von Projekten oder Aktivitäten, die Umweltschäden verursachen können, müssen gemäß Artikel 3 der SEIA-Verordnung und Gesetz 19.300 (Artikel 10) dem Umweltverträglichkeitsprüfungssystem (SEIA) unterzogen werden.

7.2. CO₂-Preis

Im OECD-Vergleich gehört Chile zu den Ländern mit dem geringsten (wenn auch zunehmenden) CO₂-Ausstoß pro Kopf. Nichtsdestotrotz hat sich das Land in der UNO-Vollversammlung 2015 das Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 30% im Vergleich zu 2007 zu reduzieren. In Chile wird daher eine Steuer auf Luftemissionen von Partikeln (PM), Stickoxiden (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlendioxid (CO₂) erhoben. Chile ist das erste Land Südamerikas, das eine Steuer auf Treibhausgase erhebt. Aktuell beträgt die CO₂-Steuer 5 USD/t. Nach Expertenmeinung sind diese Steuern jedoch noch zu niedrig angesetzt und müssten zum Erreichen der Klimaziele angepasst werden. Die oben aufgeführten Steuern betreffen thermische Kraftwerke ab 50 MW installierter Leistung und betreffen daher die Energiespeichersysteme nicht.

7.3. Fachkräfte

Der Mangel an gut ausgebildeten Arbeitskräften prägt den chilenischen Markt vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien, wo mittlerweile vorhandene Fachkräfteknappheit zu Verzögerungen bei Projekten führen kann. Im Bereich Wasserstoff ist die Situation noch prekärer, da die Technologie im Land zurzeit nur in Nischen angewendet wird und es auch keine spezialisierten Ausbildungsgänge oder Studiengänge gibt. So sollten externe Anbieter auch Schulungsmaßnahmen in Erwägung ziehen. Nichtsdestotrotz sind viele ausländische Investoren in Chile über die hohen Personalkosten im Vergleich zum Rest der lateinamerikanischen Länder erstaunt. Da in Chile im Gegensatz zu Deutschland das duale Ausbildungssystem nur ansatzweise entwickelt ist und Qualitätsstandards in der Berufsbildung noch nicht durchgesetzt sind, sind Arbeiter meist ohne spezielle Ausbildung angelernt und für bestimmte Aufgaben oft nur bedingt qualifiziert. Berufsbildung findet in der Sekundarstufe I an so genannten *liceos técnico-profesionales* statt und kann in der Sekundarstufe II an so genannten *Institutos Profesionales* (IP) oder *Centros de Formación Técnica* (CFT) fortgesetzt werden. Der Berufsbildungsalltag ist geprägt von Frontalunterricht und Vermittlung von theoretischem Wissen, zudem fehlt es oftmals an Unterrichtsmaterialien und nur die Hälfte der Berufsschullehrer verfügt über eine pädagogische Ausbildung. Als nächsthöherer Bildungsabschluss kommt dann bereits das Universitätsstudium und entsprechend gut ausgebildete Arbeitskräfte können diese Lücke oftmals nicht schließen und stehen mit Gehaltsforderungen naturgemäß über den geplanten Personalkosten. Spitzenlöhne werden vor allem in den internationalen Bergbauunternehmen gezahlt und liegen weit über dem, was Mittelständler bezahlen können. Um dem Niveau eines deutschen Facharbeiters nahezukommen, muss hier ein Ingenieursabschluss erworben werden, was nach sich zieht, dass die Ausbildung sehr theoretisch ausgerichtet ist und der erste Praxiskontakt erst im Unternehmen stattfindet. Viele große Firmen haben deshalb ihre eigenen Ausbildungszentren eingerichtet, an denen sie die Arbeiter nach ihren Bedürfnissen ausbilden.

7.4. Zahlungs- und Vertriebsstruktur

Wechselkurs

Seit dem Jahr 1998 verfolgt die chilenische Zentralbank eine restriktive Geldpolitik, um die Inflation innerhalb eines Zielkorridors gering zu halten. Der Kurs des chilenischen Pesos (CLP) wird als flexibler Wechselkurs durch Angebot und Nachfrage am Devisenmarkt bestimmt, was entsprechende Wechselkursschwankungen zum US-Dollar und Euro zur Folge haben kann. Im Zuge der sozialen Proteste Ende 2019 verlor der chilenische Peso im Verhältnis zum Euro und US-Dollar erheblich an Wert. Das ist insbesondere für Investitionen von Relevanz, welche mit Kapital in Euro-Währung getätigt, ihren Rückfluss aber in Pesos haben werden. In manchen Fällen kann es daher empfehlenswert sein, sich mit Geschäftspartnern vor Ort auf die Dollardevisen festzulegen. Die offizielle Rechnungseinheit im Stromsektor ist der US-Dollar.

Die chilenische Umrechnungseinheit Unidad de Fomento

Als Reaktion auf hohe Inflationsraten wurde 1967 die inflationsbereinigte Einheit UF (Unidad de Fomento) eingeführt, um Auslandsinvestitionen zu erleichtern und dem Land den Zugriff auf Entwicklungskredite zu ermöglichen. Ziel dieser Umrechnungseinheit ist es, einen inflationsbereinigten, für alle Vertragsseiten überschaubaren Wert zu schaffen. Die UF kommt in langfristigen Verträgen aller Art zum Einsatz, wie z. B. bei Bankkrediten, Versicherungsgebühren, privaten Investitionen oder Hypothekenkrediten. Zum Moment der Zahlung werden die Werte in CLP umgerechnet. Die UF wird am Anfang eines Monats von der chilenischen Zentralbank berechnet und veröffentlicht. Den täglich aktualisierten Wert der UF sowie historische Datenreihen kann man auf der Webseite der chilenischen Zentralbank, der Banco Central de Chile, unter folgendem Link einsehen: <http://si3.bcentral.cl/Indicadoresdiete/secure/Indicadoresdiarios.aspx>.

Zahlungsmoral

Die Zahlungsmoral wird in Chile, vor allem für lateinamerikanische Verhältnisse, als relativ positiv gewertet.⁶¹ Allerdings kommt es sowohl im öffentlichen als auch im privatwirtschaftlichen Bereich oft zu einer Verzögerung von Zahlungen, was u. a. auch auf bürokratische Zahlungsmethoden wie dem Schecksystem zurückzuführen ist. Allerdings trat im Mai 2019 das 30-Tage-Zahlungsgesetz (*Ley de Pago a 30 Días*) in Kraft, welches Fristen und Verzugszinsen und ggf. Entschädigungen bei überfälliger Zahlung festlegt und bis Juni 2022 schrittweise in den verschiedenen Sektoren umgesetzt wurde.⁶² Seit dem ersten April 2020 ist die Regelung für fast alle Bereiche gültig. Demnach beträgt die maximale Zahlungsfrist zwischen Unternehmen für die Vermarktung ihrer Produkte und Dienstleistungen 30 Tage.⁶³ Allerdings kann in beiderseitigem Einvernehmen zwischen Lieferant und Kunde auch ein längeres Zahlungsziel fixiert werden.

Steuerbehörde SII (Superintendencia de Impuestos Internos)

Im Zuge der Steuerreform hat die Steuerbehörde SII seit 2017 eine Applikation für die Umsatzsteuererklärung eingeführt, die eine vereinfachte Buchführung ermöglicht. Demnach werden Rechnungsbücher für Einkauf/Verkauf direkt in das System integriert und seitens der SII ein Vorschlag für den Umsatzsteuerbetrag errechnet, der vom Unternehmen einfach bestätigt werden kann. Zudem befreit das System die Unternehmen von der Zahlung der Unternehmenssteuer (Impuesto de Primera Categoría), deren Anteilseigner ausschließlich natürliche Personen sind. Die Aussteller elektronischer Rechnungen müssen sich zunächst auf der Website der SII registrieren: http://www.sii.cl/servicios_online/1039-guia_emitir_boleta_servicio-1184.html.

Handelsvertretungen

Exklusivvertretungen sind in Chile grundsätzlich üblich, die Repräsentanten diversifizieren allerdings ihre Produktpalette, um auf dem kleinen Markt einen stetigen Umsatz zu erwirtschaften. Marktbeobachter stellen jedoch fest, dass tendenziell weniger Unternehmen in die Portfolios chilenischer Repräsentanten aufgenommen werden. Auf angemessene logistische Voraussetzungen, das Ansehen auf den Zielmärkten, Fachwissen sowie auf eine Mindestgröße des künftigen Distributors sollte geachtet werden. Es ist ratsam, die Suche nach einem passenden Handelsvertreter bereits von Deutschland aus vorzubereiten. Die Deutsch-Chilenische Industrie- und Handelskammer (AHK Chile) empfiehlt sich als erster Ansprechpartner. Die Kontakte der Marktberatungsabteilung sind auf der Website der AHK zu finden: <https://chile.ahk.de/team>.⁶⁴

Vertriebspartnerschaften

Ausländischen Unternehmen stehen verschiedene Optionen für Vertriebspartnerschaften zur Verfügung. Zu ihnen zählen die Handelsvertretung, der Vertragshändler, die Kommission oder Franchising. Die bedeutendsten sind der Handelsvertreter (representante comercial) und der Vertragshändler (distribuidor). Der Handelsvertreter vermittelt für seinen Auftraggeber den Abschluss von Geschäften oder schließt diese im Namen des Auftraggebers ab. Er arbeitet auf Provisionsbasis und unterliegt den vertraglich vereinbarten Weisungen. Der Vertragshändler kauft Waren indes auf eigenes Risiko, um sie anschließend an den Endkunden weiterzuverkaufen. Die Vergütung berechnet sich aus der Differenz zwischen dem von ihm aufgewendeten Kaufpreis und dem Wiederverkaufspreis. Eine eigene Gesetzgebung für das

⁶¹ Germany Trade & Invest (2017): *Kreditvergabe und Zahlungsmoral – Chile*, unter: <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/zahlungsverhalten/chile/kreditvergabe-und-zahlungsmoral-chile-10680> (06.01.2021).

⁶² Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2020): *Implementación*, unter: <https://www.economia.gob.cl/ley-pago-a-30-dias/implementacion> (Abruf vom 06.01.2021).

⁶³ Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2020): *Conoce la Ley*, unter: <https://www.economia.gob.cl/ley-pago-a-30-dias/conoce-la-ley> (Abruf vom 04.01.2021).

⁶⁴ Germany Trade & Invest (2018): *Vertrieb und Handelsvertreter suche – Chile*, unter: <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/vertrieb/chile/vertrieb-und-handelsvertreter-suche-chile-9696> (Abruf vom 06.01.2021).

Handelsvertreterrecht oder den Vertragshändlervertrag gibt es in Chile nicht. Die rechtlichen Grundlagen werden dem Handelsgesetzbuch (Código de Comercio) und Zivilgesetzbuch (Código Civil) entnommen.⁶⁵

Deutsche Unternehmen, die neu in den Markt eintreten, können und sollten auf das Qualitätsmerkmal „Made in Germany“ verweisen, nicht zuletzt, da dies den eventuell höheren Preis im Vergleich zu Produkten aus Fernost zu rechtfertigen hilft. Grundsätzlich werden eigenständige Projekte zu erneuerbaren Energien gegenüber dem reinen Produktaustausch einzelner Geräte bevorzugt, da die Produkte und Teillösungen als Bestandteil der effizienteren Ausgestaltung der Prozesskette weniger sichtbar sind. Hier wird deutsches Know-how von Weltruf sehr geschätzt. Jahrelange Erfahrungen in internationalen Projekten und relevante Referenzen helfen den deutschen Unternehmen dabei maßgeblich.

Im Allgemeinen muss zwischen der Art der Unternehmen unterschieden werden, welche in den Markt eintreten wollen. Handelt es sich um einen Technologie-Anbieter (Komponenten), ist die Wahl eines Vertriebspartners vor Ort der erste Schritt.

Repräsentanz und Auslandsbürogründung

Unternehmen, die keine eigene Technologie anbieten, sondern integrierte Lösungen oder Dienstleistungen – wie Projektentwickler oder Ingenieurbüros – arbeiten meist in einer ersten Etappe mit einem Firmenrepräsentanten, der vor Ort die Projektakquise und das Management übernimmt. Da in Chile die Gründung einer Repräsentanz und/oder einer Tochtergesellschaft recht zügig vonstattengeht und der finanzielle Aufwand überschaubar ist, finden Firmengründungen dieser Unternehmen recht schnell nach der Entscheidung zum Markteintritt statt. Mitunter kann auch die erfolgreiche Akquise nur eines Projektes dazu führen, dass sofort eine chilenische Firma gegründet wird. Ist es für das Unternehmen nicht notwendig, physisch mit Produktionseinheiten oder eigenem Bürogebäude vor Ort zu sein, halten sich auch die Administrationskosten gering und die Business-Infrastruktur mit offenen Work-Spaces und Co-Works lässt es zu, dass Unternehmen mit nur einem Firmenvertreter vor Ort erfolgreich agieren können. Die im Gründungsprozess vorgeschriebene feste Firmenadresse kann vorübergehend gegen Gebühr bei spezialisierten Firmen oder Anwaltsbüros eingerichtet werden.

Sprachbarriere und Telekommunikation

Für einen erfolgreichen Markteintritt ist es unabdingbar, Informationen über das Unternehmen und seine Produkte auf Spanisch zur Verfügung zu stellen. Dies ist ein Plus nicht nur bei Endkunden, sondern auch bei Geschäftspartnern. Englisch kann nicht überall vorausgesetzt werden. Das Anfertigen einer Website auf Spanisch sowie der Gebrauch von sozialen Netzwerken ist ein Muss. Chile ist ein digitalisiertes Land und soziale Netzwerke wie LinkedIn, Instagram, Twitter und Whatsapp haben einen hohen Einfluss auch in der Geschäftswelt bzw. werden auch zur geschäftlichen Kommunikation genutzt.

Juristische Unterstützung und Doppelbesteuerung

Es empfiehlt sich, bei der Firmengründung einen Anwalt zu beauftragen, der die notwendigen Schriftstücke vorbereitet und ggf. bei Behördengängen unterstützt. Eine steuerliche Beratung durch einen Anwalt, der sowohl im chilenischen Recht als auch im deutschen Steuerrecht Expertise vorweisen kann, wird ebenfalls empfohlen.⁶⁶

Infobox 1: Status quo Doppelbesteuerungsabkommen Chile - Deutschland⁶⁷

Obwohl Chile bereits ein Doppelbesteuerungsabkommen (DBA) mit den meisten EU-Staaten (u. a. Österreich, Frankreich und Spanien) unterhält, ist es noch nicht gelungen, ein solches auch mit Deutschland abzuschließen. Das Fehlen eines Doppelbesteuerungsabkommens führt zu Wettbewerbsnachteilen für deutsche Unternehmen. Die Beeinträchtigung liegt nicht prinzipiell bei der Überführung der Unternehmensgewinne nach Deutschland, sondern vielmehr beim chilenischen Steuersystem, das eine Diskriminierung gegenüber Nicht-DBA-Staaten bei der Anwendung des Thesaurierungssystems vorsieht. Dies trifft vor allem auf Kapitalgesellschaften zu, die in Chile vorwiegend als „Sociedad Anónima“ agieren. Größere Unternehmen, welche die Möglichkeit haben, über eine Zwischenholding im

⁶⁵ Ebd.

⁶⁶ Die AHK Chile verfügt über eine ausführliche Liste von Anwälten, die sich u. a. auch auf Energiethemen und Firmengründungen zwischen Chile und Deutschland spezialisiert haben.

⁶⁷ Kraatz, Tobias (2018): Outbound-Investitionen deutscher Unternehmen in Chile: Wirtschaftsbeziehungen ohne Doppelbesteuerungsabkommen – Im Einklang mit dem globalen Wettbewerb?, Masterarbeit Studiengang Master of Arts – Taxation, vorgelegt an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, S. 50 ff.

Ausland zu agieren, welches ein DBA mit Chile hat, sind hierbei im Vorteil. KMU, welche sich dies möglicherweise nicht leisten können, sind demnach schlechter gestellt. Die deutsche Wirtschaft, die bereits in Chile investiert hat, spricht sich überwiegend für ein DBA aus und hofft auf weitergehende Verhandlungen. Das Thema wurde beim letzten Besuch des chilenischen Präsidenten in Deutschland im Oktober 2018 als wichtiges Thema für die bilateralen Wirtschaftsbeziehungen angemerkt, ist aber weiter ungelöst.

Fachkräfte

Prägend für den chilenischen Markt ist ein Mangel an gut ausgebildeten und erfahrenen Fachkräften. Dies gilt insbesondere im Bereich Wasserstoff, da entsprechende Technologie im Land zurzeit nur in Nischen angewendet wird und es bis vor kurzem keine spezialisierten Ausbildungsgänge oder Studiengänge gab. Im November 2020 hat die Universidad Técnica Federico Santa María ein Diplom zu angewandten grünen Wasserstofftechnologien (Diplomado Tecnologías Aplicadas en Hidrógeno Verde) auf den Weg gebracht, welches 8 Module und 120 Unterrichtsstunden umfasst und sich an Fachleute mit mindestens zwei Jahren Berufserfahrung aus dem öffentlichen Sektor, Entscheidungsträger in Wasserstoffinitiativen und Leiter von Energieanlagen richtet.⁶⁸ Auch die Universidad de Santiago hat Ende 2020 ein Diplom zu Wasserstoffwirtschaft (Diplomado en Economía del Hidrógeno) eingeführt.⁶⁹

Viele ausländische Investoren in Chile sind über die hohen Personalkosten im Vergleich zum Rest der lateinamerikanischen Länder erstaunt. Überdurchschnittlich hohe Löhne werden vor allem in den Bergbauunternehmen gezahlt. Steigende Löhne in den vergangenen Jahren sind auf die Diskrepanz zwischen dem Bedarf an gut ausgebildeten Ingenieuren und Facharbeitern einerseits und einem Mangel an Fachkräften und geringe moderne Ausbildungskapazitäten andererseits zurückzuführen. Dort wo in Deutschland qualifizierte Facharbeiter eingesetzt würden, werden in Chile oftmals Ingenieure eingestellt. Da in Chile im Gegensatz zu Deutschland das duale Ausbildungssystem und Qualitätsstandards in der Berufsbildung nur ansatzweise entwickelt sind, sind Arbeiter meist ohne spezielle Ausbildung angelernt und für bestimmte Aufgaben oft nur bedingt qualifiziert. So sollten externe Anbieter auch Schulungsmaßnahmen in Erwägung ziehen.

Best Practice und Pilotprojekte

Neuen Themen, die mit Investitionen verbunden sind, wird in Chile oft mit Zurückhaltung und Misstrauen begegnet. Es ist empfehlenswert, möglichen Kunden Best Practice-Beispiele aufzeigen zu können mit konkreten Ergebnissen. Diese sollten übertragbar auf die chilenische Realität sein. Eine Technologie, die in Deutschland eingesetzt wird, kann möglicherweise in Chile nicht unter den gleichen Bedingungen (z. B. mangelndes geschultes Fachpersonal) eingesetzt werden. Deshalb sollte bei der Kommunikation darauf geachtet werden, deutlich herauszustellen, wie die Technologie sich in der chilenischen Realität verhält oder, wenn es die Umstände verlangen, entsprechend angepasst werden kann. Vorteilhaft ist zudem, Technologien zum Anfassen präsentieren zu können. Ist es einem Unternehmen möglich, ein Pilotprojekt vor Ort zu realisieren, sollte diese Chance genutzt werden. Der Nachahmereffekt ist nicht zu vernachlässigen.

Commitment der Geschäftspartner und Langwierigkeit

Wie zuvor bei der Beschreibung soziokultureller Besonderheiten erwähnt, neigen Chilenen dazu, ein Angebot nicht mit einem klaren „Nein“ abzulehnen. Bei der Anbahnung von Geschäftsbeziehungen, seien sie von Anbieter zu Endkunden oder zwischen zwei Unternehmen, die eine Kooperation anstreben, kommt es oft vor, dass sich die Gesprächspartner enthusiastisch zeigen und Pläne ausgearbeitet werden. Kunden fordern Aktualisierungen von Projektskizzen und aufwändige Angebote an. Hier ist es wichtig, dass der Enthusiasmus nicht zu frühzeitig als eine Zustimmung des Angebots oder der Kooperation interpretiert wird. Oftmals zieht sich der Informationsaustausch in die Länge, ohne jedoch von Seiten des Kunden oder des Kooperationspartners eine endgültige Zustimmung zu bekommen und am Ende wird das Geschäft nach dem Einsatz großer zeitlicher Ressourcen doch nicht abgeschlossen. Es empfiehlt sich deshalb, Bedingungen zu konkretisieren und rechtzeitig das Commitment des Geschäftspartners eventuell durch die Unterzeichnung von Vorverträgen zu bestätigen.

Die Langwierigkeit ist ein weiterer Risikofaktor und sollte bei deutschen Unternehmen bei der Finanzplanung des Auslandsvorhabens nicht in Vergessenheit geraten. Es sollten genügend Ressourcen vorhanden sein, auch wenn sich Projekte zeitlich nach hinten verschieben.

⁶⁸ Universidad Técnica Federico Santa María (2020): *USM desarrollará diplomado en tecnologías aplicadas en hidrógeno verde*, unter: <https://eli.usm.cl/2020/11/11/usm-desarrollara-diplomado-en-tecnologias-aplicadas-en-hidrogeno-verde/> (Abruf vom 07.01.2021).

⁶⁹ Universidad de Santiago de Chile (2020): *Diplomado en Economía del Hidrógeno*, unter: <http://www.diq.usach.cl/wp-content/uploads/2020/10/Diplomado-en-Economia%CC%81a-del-Hidro%CC%81geno1.pdf> (Abruf vom 07.01.2021).

Währungsschwankungen und Abhängigkeit von Rohstoffen

Genauso wie die Zeitkomponente die Budgetplanung von Auslandsinvestitionen oder Projekten gefährden kann, können dies auch Chiles Abhängigkeit von Importen und die damit verbundenen Preisschwankungen auf dem Weltmarkt tun. Vor allem beim Kauf von Komponenten oder Halbzeug und Zwischenprodukten können Währungsschwankungen die Projektdurchführung innerhalb des Kostenplans erschweren.

8. Umsetzungsoptionen

Wie schon im Projektziel und -rahmen angerissen, wäre ein mittelgroßes Projekt mit einer Elektrolyseleistung bis 10 MW für das Konsortium eine gute Größe, um mit dem Markteinstieg zu beginnen. Die AHK Chile hat sehr gute Kontakte zu den Unternehmen im chilenischen Bergbausektor und es besteht dort generell ein hohes Interesse auch am Kontakt zu einem Konsortium durch die Schwierigkeit, die potenziellen Investitionskosten bei schon geplanten Projekten zur Erzeugung von Wasserstoff von vornherein korrekt zu kalkulieren, da eine Vielzahl von Lieferanten und Dienstleistern für die einzelnen Komponenten zum Zuge kommt. Dies erschwert es, potenzielle Abnehmer des Wasserstoffs frühzeitig zu überzeugen, Projekte umzusetzen und kann die Projektrealisierung verzögern. Hier hat ein Konsortium einen relativen Vorteil, weil diese Koordination nur intern abläuft und nach außen hin eine bessere Abschätzung der Projektkosten möglich ist, was es wiederum erleichtert, den finalen Abnahmepreis des Wasserstoffs adäquat zu kalkulieren.

Bei den anvisierten Projekten im chilenischen Bergbau steht vor allem die Erzeugung von Wasserstoff aus Wind- oder Solarstrom im Vordergrund. Häufig werden die chilenischen Bergbauunternehmen schon mit erneuerbarem Strom per PPA beliefert, was vor allem auf die größeren Bergbauunternehmen zutrifft, da diese so ihre Emissionsreduktionspläne umsetzen können und der Bezug von erneuerbarem Strom per PPA in Chile mittlerweile meist günstiger ist als Strom aus fossilen Quellen. Bei den mittleren Bergbauunternehmen besteht bei einigen Projekten ein PPA über grünen Strom und dies mit unterschiedlichen Laufzeiten, aber nicht immer.⁷⁰

Bei dem Projekt, was jetzt schon Interesse angekündigt hat und bei dem es sich um eine Pilotanlage von einigen 100 kW gefolgt von einer auf 3 MW erweiterten Anlage zur Versorgung von Fahrzeugen handelt, wäre auch noch ein entsprechendes Projekt für die Stromerzeugung aus Solar- und/oder Windenergie erforderlich.

Für die konkrete Umsetzung eines Projekts wäre daher neben der klassischen Umsetzung und Finanzierung durch das Bergbauunternehmen auch eine externe Finanzierung eine Option, bei der ein Liefervertrag über Wasserstoff oder eventuell dessen Derivate abgeschlossen wird. Hier würde der externe Partner das Projekt finanzieren und den Liefervertrag mit dem Bergbauunternehmen abschließen und auch hier wäre ein Konsortialansatz durch die einfachere Kostenkalkulation von Vorteil gegenüber Mitbewerbern, die nur einzelne Komponenten liefern. Hier wären also bei der Konsortialreise im Jahr 2023 Gespräche mit Bergbauunternehmen selbst sinnvoll, die Projekte planen, als auch mit Wasserstoffzulieferern, falls diese über eine Finanzierung verfügen. Auch mit Projektentwicklern, die bereits Wasserstoffprojekte im Bergbau planen, wären Gespräche wichtig.

Je nach Projekt und Verwendung des Wasserstoffs wären verschiedene Komponentenhersteller innerhalb des Konsortiums sinnvoll, um die gesamte Wertschöpfungskette abzudecken. Hierzu gehören in jedem Fall Elektrolyseurhersteller, Anbieter von Kompressoren für die Speicherung und Anbieter von Tanks für die Wasserstoffspeicherung sowie Tankstellenanbieter im Falle der Nutzung für Fahrzeuge. Sinnvoll kann auch die Einbindung eines Anbieters für Brennstoffzellen sein für Fälle, wo Wasserstoff als Stromspeicher eingesetzt und Rückverstromung vorgenommen werden soll. Auch kann ein Projektentwickler für erneuerbare Energien hinzugezogen werden, wobei hier fraglich ist, ob nicht in jedem Fall, auch bei Bergbauunternehmen, die noch nicht über PPAs mit grünem Strom verfügen, die Lieferung des erneuerbaren Stroms ausgelagert wird. Die Möglichkeit, bestehende Minenfahrzeuge mit synthetischen Brennstoffen zu

⁷⁰ BNamericas (2022): Cupreras medianas de Chile invertirán US\$2.241mn hasta 2030, unter: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/cupreras-medianas-de-chile-invertiran-us2241mn-hasta-2030> (Abruf vom 16.12.2022).

betreiben, die aus grünem Wasserstoff gewonnen werden, wird auch gesehen, dürfte aber durch die erheblichen Kosten noch ein paar Jahre weiter in der Zukunft liegen.⁷¹

Geografisch kämen vor allem die nördlichen Regionen Coquimbo, Atacama und Antofagasta in Betracht, die die meisten Bergbauprojekte beherbergen. Aber auch in der Metropolregion Santiago und der Región Valparaíso sowie den 3-4 Regionen südlich gibt es mittelgroße Bergbauprojekte, die hierfür infrage kämen. Die bereits erwähnte mittelgroße Kupfermine Minería San Pedro befindet sich beispielsweise in der Metropolregion Santiago.

Für die Formierung des Konsortiums wäre es außer der Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette von der Produktion des Wasserstoffs bis z. B. zur Tankstelle sinnvoll, schon erste Kalkulationen zum Kostenrahmen des gesamten Projektes angeben zu können (z. B. ein Preisrahmen pro kg produzierten Wasserstoff), bevor die Gespräche mit potenziellen Projektpartnern und Abnehmern von Wasserstoff in Chile angegangen werden. Falls nicht alle Teile der Wertschöpfungskette durch das Konsortium abgedeckt werden können, sollte man einen Lieferanten in der Hinterhand haben, damit auch die fehlenden Komponenten durch das Konsortium abgedeckt werden können. Generell wurden in Chile mittlerweile über 60 Projekte angekündigt, von denen sich aktuell sechs im Bau oder Probetrieb befinden.⁷² Insgesamt wurden für die nächsten Jahre Projekte mit einer Elektrolysekapazität von über 20 GW angekündigt, es wird jedoch davon ausgegangen, dass nicht alle Projekte realisiert werden können. Nichtsdestotrotz wird vor allem für Elektrolyseure eine hohe Nachfrage bestehen, sodass ein Elektrolyseurhersteller möglichst Teil des Konsortiums sein sollte.

Technisch-wirtschaftliche Evaluierung:

Die GIZ hat im Oktober 2022 ein Tool zur Evaluierung von Wasserstoffprojekten in Chile veröffentlicht, die sich vor allem an Finanzakteure richtet und bei der Kalkulation der wichtigsten Kosten für Komponenten hilft und es dem Benutzer erlaubt, unterschiedliche Projekttypen für Wasserstoffprojekte zu definieren: die Nutzung von Wasserstoff in Fernbussen, die Stromerzeugung mittels Brennstoffzellen und für allgemeinere Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff, bei dem die spezifische Nutzung keine Rolle spielt.

Für den letzteren Fall erlaubt das Tool auch, den spezifischen Verbrauch von Wasserstoff für verschiedene Nutzungen zu ermitteln, indem eine technisch-wirtschaftliche Evaluierung erstellt wird, die sich auf die Bereiche Produktion von Wasserstoff, Speicherung und Transport von Wasserstoff fokussiert.⁷³

Zu dem Tool wurde auch ein Handbuch veröffentlicht, das die Bedienung und die aufzustellenden Szenarien erklärt. Das Tool kann unter folgendem Link heruntergeladen werden: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/10/Herramienta-Hidrogeno-Verde-version-Beta.zip> und das Handbuch unter folgendem Link: https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/10/Manual-del-usuario_Herramienta-proyectos-de-H2V.pdf

Das Fraunhofer Zentrum für Solarenergietechnik (Fraunhofer Centro de Tecnologías para Energía Solar, CSET) hat im Mai 2022 angekündigt, auch die Veröffentlichung eines Web-Tools zur Ermittlung von Produktionskosten von grünem Wasserstoff aus Solarenergie im Norden Chiles zu planen. Das Tool soll einen Algorithmus zur Optimierung des Strommixes aus Photovoltaik und Solarthermiekraftwerken bieten und auch die Kosten für Speicherung und Transport von Wasserstoff miteinbeziehen. Das Tool richtet sich an Projektentwickler und Investoren und soll in weitere Forschungsdienstleistungen von Fraunhofer Chile eingebettet werden. Ziel ist es, die Errichtung von Wasserstoffprojekten in Chile zu erleichtern und Technologietransfer aus Deutschland zu ermöglichen. Das Web-Tool soll gratis und offen zugänglich sein.

Genehmigungen der Behörden:

Das chilenische Energieministerium hat 2021 einen Guide zur Beantragung von Genehmigungen für Wasserstoffprojekte bei der zuständigen Behörde für Kraftstoffe veröffentlicht. Bisher gibt es noch keine ausgearbeiteten Normen auf

⁷¹ Corporación Alta Ley (2021): Minería verde – Oportunidades y desafíos, unter: https://corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2021/05/2021_Mineria-Verde_Oportunidades-y-Desafios_version-ligera.pdf (Abruf vom 16.12.2022).

⁷² Ovejero Noticias (2022): 42 proyectos de Hidrógeno Verde se desarrollan en Chile, de los cuales 8 en la región de Magallanes, unter: <https://www.ovejeronoticias.cl/2022/12/42-proyectos-de-hidrogeno-verde-se-desarrollan-en-chile-de-los-cuales-8-en-la-region-de-magallanes-fundacion-terram/> (Abruf vom 20.12.2022).

⁷³ GIZ Chile (2022): GIZ lanza herramienta para evaluar proyectos de producción de hidrógeno verde, unter: <https://4echile.cl/noticias/giz-lanza-herramienta-para-evaluar-proyectos-de-produccion-de-hidrogeno-verde/> (Abruf vom 16.12.2022).

Gesetzesebene für diese Projekte, weshalb die Genehmigungen dafür zurzeit Ausnahmegenehmigungen sind. Der Guide sieht vor, dass für Projekte von der Produktion über Aufbereitung, Speicherung, Transport und Verteilung bis zum Konsum des Wasserstoffs alle Etappen der Wertschöpfungskette abgedeckt sind. Bei den Anträgen müssen eine Vorstellung des Projekts, eine Beschreibung des Projekts, die zu verwendenden Normen (je nach Projektart), das Projektdesign, eine Sicherheitsbeschreibung des Projekts und ein Nachweis der Sicherheit der einzelnen Komponenten über Zertifikate beigefügt sein. Der Guide findet sich unter:


https://energia.gob.cl/sites/default/files/guia_proyectos_especiales_hidrogeno_2021.pdf

9. SWOT-Analyse

Die chilenische Regierung hat mit der im November 2020 veröffentlichten Nationalen Wasserstoffstrategie die Weichen dafür gestellt, den Markt für Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe im Land anzukurbeln. Die Produktion und der Einsatz von grünem Wasserstoff sind jetzt schon in Bereichen wie dem Einsatz in Gabelstaplern wirtschaftlich darstellbar und durch die zu erwartenden Kostensenkungen für die Produktionsanlagen auch für den Transport im Bergbau vor allem im Bereich der Muldenkipper ist in den kommenden Jahren eine rasante Entwicklung neuer Wasserstoffprojekte im Land zu erwarten. Kurzfristig sind die Errichtung von immer mehr Pilotanlagen in den nächsten Jahren zu erwarten und auch der Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen kleineren Bergbaufahrzeugen, die nicht elektrifiziert werden können, sowie im stationären Einsatz.


Tabelle 3: SWOT-Analyse	
Strengths (Stärken)	Weaknesses (Schwächen)
<p>Chile Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Relative politische und wirtschaftliche Stabilität ▪ Stabiles Wirtschaftswachstum ▪ Offene Marktwirtschaft ▪ Integration in globale Wirtschaft ▪ Gute Wirtschaftsbeziehungen zu Deutschland 	<p>Chile Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlende gut ausgebildete Fachkräfte ▪ Ungleiche Verteilung der Einkommen ▪ Abhängigkeit von Rohstoffen ▪ Kurzfristige Denkweise und Amortisierungszeiten ▪ Fehlendes Doppelbesteuerungsabkommen
<p>Markt für Wasserstoff im Bergbau</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sehr gute geografische Bedingungen für Erzeugung von grünem Wasserstoff ▪ Wasserstoffstrategie mit klaren Zielen ▪ Bergbausektor ist im Land stark 	<p>Markt für Wasserstoff im Bergbau</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bisher geringe Erfahrung mit Pilotprojekten und wenig Wasserstoffinfrastruktur vorhanden ▪ Keine Subventionen für erneuerbare Energien ▪ Kaum Fördermöglichkeiten für Projekte
Opportunities (Chancen)	Threats (Risiken)
<p>Chile Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostendruck in der Produktion ▪ Großes Interesse an deutschen Technologien und Know-how ▪ Engagement zur Senkung des CO₂-Ausstoßes 	<p>Chile Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abhängigkeit von schwankenden Rohstoffpreisen ▪ Währungsschwankungen ▪ Mangelnde Diversifizierung der Exportgüter ▪ Wasserknappheit ▪ Soziale Proteste
<p>Markt für Wasserstoff im Bergbau</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhandene Gasinfrastruktur im Norden des Landes, inkl. Flüssiggasterminal Mejillones ▪ Abhängigkeiten von Energieimporten ▪ Notwendigkeit zur „grünen“ Produktion von Metallen wird im Sektor gesehen 	<p>Markt für Wasserstoff im Bergbau</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenig ausgebildetes Fachpersonal ▪ Schwierige Finanzierungsmöglichkeiten ▪ Im Bereich Export Positionierung von weiteren Ländern mit Exportpotenzial → potenziell hoher Wettbewerb

10. Profile der Marktakteure


Profil	Air Liquide	
Adresse:	Avenida Kennedy 5454 Of. 801, Vitacura Santiago	
Tel.:	+56 2 2465 7600	
Web:	www.industrial.airliquide.cl	
Kurzbeschreibung:	Obwohl das Unternehmen international Wasserstoff produziert und vertreibt, liegt der Fokus in Chile auf anderen Gasen (z. B. Stickstoff, Helium, Sauerstoff). In Chile wird der Wasserstoff zwar verkauft, aber nicht produziert. Das Unternehmen verfolgt das Ziel mindestens 50% seines Wasserstoffs ab 2020 für die Automobilindustrie herzustellen.	

Profil	AME	
Adresse:	Avda. Apoquindo 3472, oficina 1401 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 289 68 900	
Web:	www.ame.cl	
Kurzbeschreibung:	AME ist einer der größten Stromerzeuger Chiles mit einer installierten Kapazität von 865 MW. Über sein Tochterunternehmen HIF plant AME zusammen mit dem staatlichen Öl- und Gaskonzern ENAP, dem in Chile tätigen italienischen Stromerzeuger Enel Green Power sowie Siemens und Porsche das Projekt „Highly Innovative Fuels“ HIF bzw. Haru Oni im Süden des Landes, bei dem aus grünem Wasserstoff synthetische Kraftstoffe erzeugt werden sollen.	

Profil	Anglo American Chile	
Adresse:	Isidora Goyenechea 2800 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2230 6000	
Web:	www.chile.angloamerican.com	
Kurzbeschreibung:	Bergbauunternehmen für die Gewinnung, Verarbeitung und den Transport von natürlichen Ressourcen wie Diamanten, Kupfer, Platingruppenmetalle, Eisenerz, Kohle und Nickel. Anglo American hat in Zusammenarbeit mit Tractebel eine Pilotanlage zur Produktion von Wasserstoff für den Betrieb von Gabelstaplern in Santiago de Chile errichtet. Die Anlage wird mit Solarstrom betrieben und produziert 2 kg Wasserstoff pro Tag. Über Brennstoffzellen wird der Wasserstoff außerdem als Speicher genutzt und Elektrizität ins Netz rückverstromt.	

Profil	Astilleros y Servicios Navales S.A.	
Adresse:	Fidel Oteiza 1956 Providencia Santiago	
Tel.:	+56 2 2204 9118	
Web:	www.asenav.cl	
Kurzbeschreibung:	Astilleros y Servicios Navales S.A. ist eine chilenische Werft, die kleine Fähren, Schlepper, Fischerboote, touristische Boote und Wellboats für die Lachsindustrie herstellt. Zusammen mit dem chilenischen Unternehmen Patagonia Wellboat, das eine Flotte zum Transport von lebenden Fischen betreibt, plant Asenav ein Boot zusätzlich zum existierenden Dieselgenerator mit einer Brennstoffzelle auszurüsten.	


Profil	BHP Chile	
Adresse:	Av. Américo Vespucio Sur 100, P 10 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2206 5010	
Web:	www.bhp.com	
Kurzbeschreibung:	Der angloaustralische Bergbaukonzern BHP ist einer der weltweit größten Produzenten von Rohstoffen wie Kohle, Kupfer, Eisenerz, Nickel, Silber und Uran. BHP hat Anfang Januar 2021 angekündigt, Wasserstoff in einer Pilotanlage in seiner chilenischen Kupfermine Spence einzusetzen. Das Projekt soll in Zusammenarbeit mit dem US-amerikanischen Unternehmen eCombustibles realisiert werden und Wasserstoff lokal aus erneuerbaren Energien produzieren. Dieser soll in zwei Heizkesseln mit 10.550 kW und 3.000 kW eingesetzt werden, die Heißwasser für den Prozess der Elektrogewinnung produzieren. Zur Befuerung der Kessel werden im Moment Erdgas und Diesel eingesetzt. Ziel ist es, den Diesel vollständig zu ersetzen. Das Projekt umfasst Investitionen von 4 Mio. USD.	


Profil	Busso Group	
Adresse:	Calle Miraflores 383 Santiago	
Tel.:	+56 2 2634 0001	
Web:	www.bussogroup.com	
Kurzbeschreibung:	Die Busso Group ist über mehrere Tochterunternehmen in den Bereichen Düngemittel, Big Data, Recycling, Bergbauzulieferung, Automatisierung und Robotisierung tätig. Die Busso Group plant die Errichtung einer Wasserstoff-Tankstelle als Pilotprojekt in Santiago de Chile, an der auch der Wasserstoff produziert werden soll. Die Anlage soll eine Leistung von 500 kW haben. Projektpartner sind die Unternehmen Plug Power, die Brennstoffzellen für Gabelstapler herstellt, und das Unternehmen Green Hydrogen Systems, das die Elektrolyseure liefert.	

Profil	Club de Innovación	
Adresse:	Av Vitacura 2969, Local 2 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2671 2402	
Web:	www.clubdeinnovacion.com	
Kurzbeschreibung:	Seit 2004 ist der Club de Innovación darauf spezialisiert, die Innovationsbedürfnisse der Partnerunternehmen mit dem lokalen und internationalen Ökosystem zu verknüpfen und zu artikulieren. In diesem Kontext ist Wasserstoff eines der aktuellen Schwerpunktthemen. Die meisten für 2021 und 2022 angekündigten Projekte im Bereich Wasserstoff in Chile wurden im Rahmen von mehreren Webinaren des Projekts „Misión Cavendish“ vorgestellt, das vom Club de Innovación organisiert wird. Die Webinars können auf dem YouTube-Kanal des Clubs de Innovación angeschaut werden: https://www.youtube.com/c/ClubdeInnovaci%C3%B3n .	
Liste der Mitglieder des Club de Innovación:	https://clubdeinnovacion.com/membresia/	


Profil	Copec	
Adresse:	Isidora Goyenechea 2915 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 800 200 354	
Web:	www.copec.cl	
Kurzbeschreibung:		
Das Unternehmen Compañía de Petróleos de Chile (Copec) ist einer der größten Tankstellenbetreiber und Anbieter von Kraftstoffen in Chile. Das Unternehmen ist aktuell in Gesprächen mit Bergbau- und Holzunternehmen, um Pilotprojekte mit Wasserstoffbussen zu realisieren, die Personal zu den Arbeitsstätten befördern.		


Profil	Enaex Chile S.A.	
Adresse:	El Trovador 4253, Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2837 7600	
Web:	www.enaex.com	
Kurzbeschreibung:		
Enaex ist einer der größten Hersteller von Ammoniumnitrat in Lateinamerika und importiert ca. 360.000 Tonnen Ammoniak pro Jahr. Das Unternehmen plant zusammen mit dem französischen Energiekonzern Engie die Produktion von synthetischem Ammoniak im Norden Chiles.		

Profil	ENAP	
Adresse:	Av. Apoquindo 2929, piso 5 Las Condes Santiago de Chile	
Tel.:	+56 2 2280 3000	
Web:	www.enap.cl	
Kurzbeschreibung:		
Der staatliche chilenische Öl- und Gaskonzern Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) fördert Erdöl und Erdgas in der südlichsten Region Magallanes und betreibt in Valparaíso und Bío-Bío Raffinerien, in denen Wasserstoff zur Entschwefelung eingesetzt wird. Für beide Raffinerien wird der Wasserstoff von der Firma Linde geliefert, die jeweils eine Produktion von Wasserstoff aus Erdgas, Erdöl und LPG in der Nähe der Raffinerien betreibt.		
Des Weiteren ist ENAP am Projekt „Highly Innovative Fuels“ (HIF bzw. „Haru Oni“) beteiligt, das von dem Unternehmen HIF geplant wird, welches eine Tochtergesellschaft des chilenischen Stromerzeugers AME ist. Weitere Projektpartner sind der in Chile tätige italienische Stromerzeuger Enel Green Power sowie Siemens und Porsche.		

Profil	Engie	
Adresse:	Francisco Noguera 200 Providencia Santiago	
Tel.:	+56 2 2499 8300	
Web:	www.engie.cl	
Kurzbeschreibung:		
Unternehmen, das für die Erzeugung, Übertragung und Lieferung von Strom zuständig ist. Außerdem transportiert Engie Erdgas und bietet mehr als 50 Energielösungen für den Bergbau, Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen an.		
Engie plant insgesamt drei Projekte zu Wasserstoff in Chile: die Produktion von synthetischem Ammoniak mit der Firma Enaex im Norden Chiles, eine weitere Anlage zur Produktion von synthetischem Ammoniak mit Windkraft im Süden des Landes und Engie ist Teil des Konsortiums Hydra, das Brennstoffzellen mit Batterien kombinieren will, um diese für verschiedene Zwecke im Bergbau einzusetzen (siehe „Bisherige Projekte“ im Kapitel 6 Technische Lösungsansätze).		

Profil	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH		Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Adresse:	Marchant Pereira 150 Providencia. Santiago		
Tel.:	+56 2 2306 8600		
Web:	www.4echile.cl		
Kurzbeschreibung:	Die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH ist mit mehreren Projekten im Bereich Wasserstoff aktiv, vor allem über ihr Programm 4e (Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética), über das sie technische Hilfe bei der Realisierung von Wasserstoffprojekten anbietet. Auch realisiert die GIZ Chile regelmäßig Webinars zum Thema und hat zusammen mit dem chilenischen Energieministerium im November 2020 den Green Hydrogen Summit realisiert. Auf der Seite www.h2lac.org findet sich eine Plattform zum Thema Wasserstoff, auf der auch die bisher realisierten Projekte einsehbar sind.		

Profil	Indura	
Adresse:	Av. Santa Rosa 3790 San Joaquín Santiago	
Tel.:	+56 2 2553 6020	
Web:	www.indura.cl	
Kurzbeschreibung:	Das US-amerikanische Unternehmen bietet Industriegase an und betreibt außerdem zwei Wasserstoffanlagen in Chile: die Anlagen Indura Lirquén und ASU Indura Graneros. Der hochreine Wasserstoff (99,999%) wird mittels einer Elektrolyseanlage hergestellt und an die nationale Industrie in Form von Hochdruck-Wasserstoffflaschen verkauft.	

Profil	Linde Gas Chile S.A.	
Adresse:	Noruega 6350 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2201 9602	
Web:	www.linde.cl	
Kurzbeschreibung:	Linde Gas ist ein internationales Unternehmen, das Industriegase, Anwendungslösungen, Hardware und Dienstleistungen verkauft. Linde bietet verschiedene Komponenten rund um Wasserstoff an und entwickelt u. a. umweltfreundliche Wasserstofftechnologien. Außerdem widmet sich das Unternehmen der Planung, dem Bau und der Inbetriebnahme schlüsselfertiger Wasserstoffanlagen zur Herstellung von Wasserstoff. In Chile ist Linde in den Städten Punta Arenas, Puerto Montt, Valdivia, Temuco, Concepción, Santiago, Valparaíso und Concón vertreten.	

Profil	Patagonia Wellboat	
Adresse:	Cristóbal Colón 486 Esq. Seminario Puerto Montt	
Tel.:	+56 65 2384400	
Web:	www.wellboat.cl	
Kurzbeschreibung:	Patagonia Wellboat ist ein chilenischer Betreiber von Wellboats für die Lachs- und Forellenindustrie. Zusammen mit der chilenischen Werft Astilleros y Servicios Navales S.A. plant Patagonia Wellboat ein Boot zusätzlich zum existierenden Dieselgenerator mit einer Brennstoffzelle auszurüsten.	

Profil**Siemens**

Adresse: Av. Vitacura 2969
Santiago
Tel.: +56 2 2836 5929
Web: www.new.siemens.com/cl



Kurzbeschreibung:

Siemens ist ein weltweit tätiges Unternehmen mit dem Fokus auf Automatisierung, Digitalisierung und Elektrifizierung. Außerdem bietet Siemens energieeffiziente und ressourcenschonende Technologien im Bereich Energieerzeugung und -übertragung sowie Lösungen für Infrastruktur und Industrie an.

Siemens ist an dem Projekt „Highly Innovative Fuels“ (HIF bzw. „Haru Oni“) beteiligt, das von dem Unternehmen HIF geplant wird, welches eine Tochtergesellschaft des chilenischen Stromerzeugers AME ist. Weitere Projektpartner sind der staatliche chilenische Öl- und Gaskonzern ENAP, der in Chile tätige italienische Stromerzeuger Enel Green Power sowie Porsche. Des Weiteren plant Siemens in Santiago de Chile einen Energie-Hub mit Schwerpunkt Wasserstoff mit Forschungsaktivitäten zu installieren.

Profil**TCI Geocomp**

Adresse: Calle Belén, 8, Entresuelo 5
04008 Almería
Spanien
Tel.: +34 910 88 94 07
Web: www.tci-gecomp.com



Kurzbeschreibung:

TCI Geocomp ist ein spanischer Projektentwickler für Solarparks, der auch in Chile, Peru, Uruguay und Argentinien aktiv ist. TCI Geocomp plant zwei Projekte zur Produktion von Wasserstoff in Chile. Zum einen das Projekt Hoasis in der nördlichen Region Antofagasta, das die Errichtung eines Solarparks mit 3 GW Leistung und einer Elektrolyseanlage mit 2.100 MW umfasst. Das zweite Projekt von TCI Geocomp namens Arichile umfasst eine Elektrolyseanlage mit 1 MW Leistung in Kombination mit einer Meerwasserentsalzungsanlage und soll in Zusammenarbeit mit dem spanischen Unternehmen Ariema realisiert werden. Es wurde durch das Programm Horizon 2020 der Europäischen Union unterstützt.

Profil**Tractebel**

Adresse: Av. Andrés Bello 2325, Piso 7
Providencia
Tel.: +56 2 715 8000
Web: www.tractebel-engie.cl



Kurzbeschreibung:

Tractebel ist ein belgisches Unternehmen und Tochtergesellschaft des französischen Energieunternehmens Engie. Tractebel bietet vor allem Consultant- und Ingenieursdienstleistungen für Energieprojekte an.

In Santiago de Chile plant Tractebel eine Pilotanlage zur Produktion von Wasserstoff für den Betrieb von Gabelstaplern für das Bergbauunternehmen Anglo America zu konstruieren. Die Anlage soll mit Solarstrom betrieben werden und 2 kg Wasserstoff pro Tag produzieren. Über Brennstoffzellen sollen außerdem der Wasserstoff als Speicher genutzt und Elektrizität ins Netz rückverstromt werden. Das Projekt sollte im November 2020 fertiggestellt werden.

Technologiekonsortium

Es wurde ein Technologiekonsortium für die Entwicklung von Hybridmotoren mit Diesel und Wasserstoff gebildet. Die Aufgabe des Konsortiums ist es, einen industriellen Prototyp für große Bergbau-LKWs anzufertigen. Dabei gibt es eine Labor-, Test- und Technologietransferphase. Die Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf 12,5 Mrd. CLP, von denen Corfo 4 Mrd. CLP beisteuert und der Rest aus der Privatwirtschaft kommt. Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge stellen besonders für den Bergbau eine interessante Alternative dar, weil sie im Gegensatz zu Elektrofahrzeugen viel schneller auftankbar sind. Nachfolgend werden die teilnehmenden Unternehmen dargestellt:

Profil	Alset	
Adresse:	Av. El Golf 40 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2280 5300	
Web:	www.alset.at	
Kurzbeschreibung:	Alset ist ein österreichisches Unternehmen, das ein Ingenieurbüro in Chile besitzt. Das Unternehmen legt seinen Fokus auf wasserstoffbasierte Mobilität, technologische Entwicklung, Engineering, Projektmanagement und Markterschließung. In Chile agiert Alset besonders im Bergbau, indem es Fahrzeuge mit Hybridmotoren mit Diesel und Wasserstoff ausstattet.	

Profil	Anglo American Chile	
Adresse:	Isidora Goyenechea 2800 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2230 6000	
Web:	www.chile.angloamerican.com	
Kurzbeschreibung:	Bergbauunternehmen für die Gewinnung, Verarbeitung und den Transport von natürlichen Ressourcen wie Diamanten, Kupfer, Platingruppenmetalle, Eisenerz, Kohle und Nickel. Anglo American hat in Zusammenarbeit mit Tractebel eine Pilotanlage zur Produktion von Wasserstoff für den Betrieb von Gabelstaplern in Santiago de Chile errichtet. Die Anlage wird mit Solarstrom betrieben und produziert 2 kg Wasserstoff pro Tag. Über Brennstoffzellen wird der Wasserstoff außerdem als Speicher genutzt und Elektrizität ins Netz rückverstromt.	

Profil	BHP Chile	
Adresse:	Av. Américo Vespucio Sur 100 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2206 5010	
Web:	www.bhp.com	
Kurzbeschreibung:	Der angloaustralische Bergbaukonzern BHP ist einer der weltweit größten Produzenten von Rohstoffen wie Kohle, Kupfer, Eisenerz, Nickel, Silber und Uran. BHP hat Anfang Januar 2021 angekündigt, Wasserstoff in einer Pilotanlage in seiner chilenischen Kupfermine Spence einzusetzen. Das Projekt soll in Zusammenarbeit mit dem US-amerikanischen Unternehmen eCombustibles realisiert werden und Wasserstoff lokal aus erneuerbaren Energien produzieren. Dieser soll in zwei Heizkesseln mit 10.550 kW und 3.000 kW eingesetzt werden, die Heißwasser für den Prozess der Elektrogewinnung produzieren. Zur Befuerung der Kessel werden im Moment Erdgas und Diesel eingesetzt. Ziel ist es, den Diesel vollständig zu ersetzen. Das Projekt umfasst Investitionen von 4 Mio. USD.	

Profil **Compañía Minera del Pacífico**

Adresse: Pedro Pablo Muñoz 675
La Serena

Tel.: +56 5 1266 8000

Web: www.capmineria.cl



Kurzbeschreibung:

CAP Minería ist der wichtigste Eisenproduzent und Exporteur von 99% dieses Erzes in Chile.

Profil **Engie**

Adresse: Francisco Noguera 200
Providencia
Santiago

Tel.: +56 2 2499 8300

Web: www.engie.cl



Kurzbeschreibung

Unternehmen, das für die Erzeugung, Übertragung und Lieferung von Strom zuständig ist. Außerdem transportiert Engie Erdgas und bietet mehr als 50 Energielösungen für den Bergbau, Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen an.

Engie plant insgesamt drei Projekte zu Wasserstoff in Chile: die Produktion von synthetischem Ammoniak mit der Firma Enaex im Norden Chiles, eine weitere Anlage zur Produktion von synthetischem Ammoniak mit Windkraft im Süden des Landes und Engie ist Teil des Konsortiums Hydra, das Brennstoffzellen mit Batterien kombinieren will, um diese für verschiedene Zwecke im Bergbau einzusetzen (siehe „Bisherige Projekte“ im Kapitel 6 Technische Lösungsansätze).

Profil **NTT Data**
In Chile: everis Chile

Adresse: Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1449
Santiago

Tel.: +56 2 2421 5300

Web: www.everis.com



Kurzbeschreibung:

NTT Data ist ein japanisches Unternehmen, das auf IT-Dienstleistungen spezialisiert ist. Diese Dienstleistungen umfassen ein breites Spektrum, z. B. Application Development & Management und Enterprise Application Services.

Profil **Universidad Católica**

Adresse: Av. Libertador Bernardo O'Higgins 340
Santiago

Tel.: +56 2 2354 4000

Web: www.uc.cl




Kurzbeschreibung:

Die Universität forscht u. a. im Bereich Wasserstoffspeicherung durch Absorption und Verwendung von Materialien zur Nutzung des sichtbaren Lichtspektrums (Produktion mit Photokatalyse). Außerdem ist die Universität an einem Pilotprojekt beteiligt, welches darauf abzielt, den Dieselmotor des Bergbau-LKWs so zu modifizieren, dass er eine Mischung aus Diesel und Wasserstoff verwendet.

Profil	Universidad de Santiago de Chile		UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
Adresse:	Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363 Santiago		
Tel.:	+56 2 2718 4900		
Web:	www.usach.cl		
Kurzbeschreibung: Die Universität Santiago de Chile forscht an Materialien für die Wasserstoffspeicherung und an der Wasserstoffproduktion mit erneuerbarer elektrischer Energie (Solarmodule und Windturbinen), die in der Brennstoffzelle gespeichert und verbraucht wird. Außerdem hat die Universität Ende 2020 ein Diplom zu Wasserstoffwirtschaft (Diplomado en Economía del Hidrógeno) eingeführt. Zusätzlich ist sie an einem Konsortium zur Implementierung von Hybrid-Fahrzeugen im Bergbau beteiligt, deren Motoren sowohl mit Diesel als auch mit Wasserstoff betrieben werden können.			

Konsortium für Brennstoffzellen in Frontladern:

Profil	Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE)		Agencia de Sostenibilidad Energética
Adresse:	Monseñor Nuncio Sotero Sanz de Villalba 221 Providencia Santiago		
Tel.:	+56 2 2571 220		
Web:	www.agenciase.org		
Kurzbeschreibung: Bei der AgenciaSE handelt es sich um eine privatrechtliche Stiftung, die Programme zur Förderung der Energieeffizienz in den Tätigkeitsfeldern Transport, Industrie und private Haushalte durchführt. Innerhalb dieser Segmente werden Aus- und Weiterbildungsprogramme für Energieeffizienz angeboten und Förderprogramme durchgeführt. Die Agentur zertifiziert zudem jedes Jahr die Energieeffizienz-Consultants in ihrer Datenbank (momentan etwa 120 Consultants). Jeder EE-Consultant muss seine Audits und aktuellen Kenntnisse jährlich nachweisen, um weiterhin akkreditiert zu sein. Zudem werden das CEM-Zertifikat und der von der AHK Chile angebotene Abschluss EUREM anerkannt. Die Datenbank ist online zugänglich unter www.consultoree.cl .			

Profil	Ballard Power Systems	
Adresse:	9000 Glenlyon Pkwy Burnaby, BC V5J 5J8 Canada	
Tel.:	+1 604 454 0900	
Web:	www.ballard.com	
Kurzbeschreibung: Ballard Power System ist ein kanadischer Hersteller von auf Wasserstoff-Technologien basierenden Brennstoffzellen.		

Profil **Centro Nacional de Hidrógeno de España**

Adresse: Calle Fernando el Santo 13500
Puertollano, Ciudad Real
Spanien

Tel.: +34 926 42 06 82
Web: www.cnh2.es



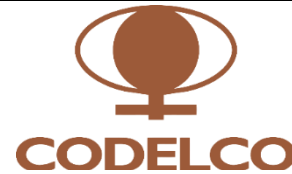
Kurzbeschreibung:

Das Nationale Zentrum für Experimente mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (CNH2) widmet sich der Förderung der wissenschaftlichen und technologischen Forschung von Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen. Die CNH2 ist ein öffentliches Konsortium zwischen dem Ministerium für Bildung und Wissenschaft, dem derzeitigen Ministerium für Wissenschaft, Innovation und Universitäten und der Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Profil **Codelco**

Adresse: Huérfanos 1270
Santiago

Tel.: +56 2 2690 3000
Web: www.codelco.com



Kurzbeschreibung:

Das staatseigene Bergbauunternehmen Codelco ist der weltweit größte Kupferkonzern. Da die chilenische Wirtschaft stark vom Kupferexport abhängig ist (knapp die Hälfte der Gesamtexporte), spielt das Unternehmen eine entscheidende Rolle in der chilenischen Bergbaubranche.

Profil **Collahuasi**

Adresse: Andrés Bello 2687
Las Condes
Santiago

Tel.: +56 2 2362 6730
Web: www.collahuasi.cl



Kurzbeschreibung:

Collahuasi ist ein Bergbauunternehmen, das sich mit der Gewinnung und Produktion von Kupferkonzentrat und Kathoden sowie Molybdänkonzentrat beschäftigt. Collahuasi gehört zu den größten Kupferbetrieben weltweit.

Profil **Engie**

Adresse: Francisco Noguera 200
Providencia
Santiago

Tel.: +56 2 2499 8300
Web: www.engie.cl



Kurzbeschreibung:

Unternehmen, das für die Erzeugung, Übertragung und Lieferung von Strom zuständig ist. Außerdem transportiert Engie Erdgas und bietet mehr als 50 Energielösungen für den Bergbau, Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen an.

Engie plant insgesamt drei Projekte zu Wasserstoff in Chile: die Produktion von synthetischem Ammoniak mit der Firma Enaex im Norden Chiles, eine weitere Anlage zur Produktion von synthetischem Ammoniak mit Windkraft im Süden des Landes und Engie ist Teil des Konsortiums Hydra, das Brennstoffzellen mit Batterien kombinieren will, um diese für verschiedene Zwecke im Bergbau einzusetzen (siehe „Bisherige Projekte“ im Kapitel 6 Technische Lösungsansätze).

Profil **Fundación Hidrógeno del Aragón**

Adresse: Parque Tecnológico Walqa
N-330 Km 566
22197 Cuarte (Huesca)
Spanien

Tel.: +34 9 7421 5258
Web: www.hidrogenoaragon.org

Kurzbeschreibung:

Das Forschungszentrum fördert die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Es werden Wasserstoffprodukte und -dienstleistungen in Synergie mit erneuerbaren Energien entwickelt.



FUNDACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE LAS NUEVAS
TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO
EN ARAGÓN

Profil **Metalpar**

Adresse: Camino a Melipilla 9236
Maipú, Santiago

Tel.: +56 2 2368 2030
Web: www.metalpar.cl

Kurzbeschreibung:

Die chilenische Firma Metalpar konzentriert sich auf Entwicklung, Import, Vermarktung und Finanzierung von Fahrzeugen für den Personenverkehr.



Profil **Siemens**

Adresse: Av. Vitacura 2969
Santiago

Tel.: +56 2 2836 5929
Web: www.new.siemens.com/cl

Kurzbeschreibung:

Siemens ist ein weltweit tätiges Unternehmen mit dem Fokus auf Automatisierung, Digitalisierung und Elektrifizierung. Außerdem bietet Siemens energieeffiziente und ressourcenschonende Technologien im Bereich Energieerzeugung und -übertragung sowie Lösungen für Infrastruktur und Industrie an.

Siemens ist an dem Projekt „Highly Innovative Fuels“ (HIF bzw. „Haru Oni“) beteiligt, das von dem Unternehmen HIF geplant wird, welches eine Tochtergesellschaft des chilenischen Stromerzeugers AME ist. Weitere Projektpartner sind der staatliche chilenische Öl- und Gaskonzern ENAP, der in Chile tätige italienische Stromerzeuger Enel Green Power sowie Porsche. Des Weiteren plant Siemens in Santiago de Chile einen Energie-Hub mit Schwerpunkt Wasserstoff mit Forschungsaktivitäten zu installieren.



Profil **Sociedad Nacional de Minería (SONAMI)**


Adresse: Av. Apoquindo 3000
Las Condes
Santiago

Tel.: +56 2 2820 7000
Web: www.sonami.cl


Kurzbeschreibung:


Die SONAMI ist ein Unternehmensverband, der große, mittlere und kleine metallische und nichtmetallische Bergbauaktivitäten in Chile zusammenführt und vertritt.




Profil	Universidad Federico Santa María	
Adresse:	Avenida España 1680 Valparaíso	UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
Tel.:	+56 3 2265 4000	
Web:	www.usm.cl	
Kurzbeschreibung: Die Universität hat zwei Arbeitslinien im Bereich Wasserstoff. Die erste beschäftigt sich mit der Wasserstoffproduktion und den damit verbundenen Technologien und Rohstoffen. Der zweite Arbeitsbereich bezieht sich auf die Anwendung von Wasserstoff in Verbrennungssystemen. In diesem Zusammenhang ist sie an einem internationalen Konsortium beteiligt, welches Frontlader im Bergbau mit Brennstoffzellen ausstatten will. Darüber hinaus hat die Universität im November 2020 ein Diplom zu angewandten grünen Wasserstofftechnologien (Diplomado Tecnologías Aplicadas en Hidrógeno Verde) auf den Weg gebracht.		

Konsortium Projekt HYDRA zur Kombination von Brennstoffzellen und Batterien im Bergbau:

Profil	Csiro Chile	
Adresse:	Apoquindo 4700, piso 9 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2797 6300	
Web:	www.csiro.au	
Kurzbeschreibung: Csiro ist ein australisches Forschungsunternehmen, das zur verschiedenen Themen im Bergbau, zu Wasserthemen und zu Energie forscht.		


Profil	Engie	
Adresse:	Francisco Noguera 200 Providencia Santiago	
Tel.:	+56 2 2499 8300	
Web:	www.engie.cl	
Kurzbeschreibung: Unternehmen, das für die Erzeugung, Übertragung und Lieferung von Strom zuständig ist. Außerdem transportiert Engie Erdgas und bietet mehr als 50 Energielösungen für den Bergbau, Haushalte und kleine und mittlere Unternehmen an. Engie plant insgesamt drei Projekte zu Wasserstoff in Chile: die Produktion von synthetischem Ammoniak mit der Firma Enaex im Norden Chiles, eine weitere Anlage zur Produktion von synthetischem Ammoniak mit Windkraft im Süden des Landes und Engie ist Teil des Konsortiums Hydra, das Brennstoffzellen mit Batterien kombinieren will, um diese für verschiedene Zwecke im Bergbau einzusetzen (siehe „Bisherige Projekte“ im Kapitel 6 Technische Lösungsansätze).		


Profil	Mining 3	
Adresse:	CSIRO Mineral Resources Apoquindo 2827, piso 12 Las Condes Santiago	
Tel.:	+56 2 2797 6300	
Web:	www.mining3.com	
Kurzbeschreibung: Mining 3 ist ein Forschungszentrum zu Bergbauthemen, das die Forschungsaktivitäten der australischen Unternehmen Csiro und CRC Mining bündelt.		


Universitäten

In Chile gibt es verschiedene Universitäten, die u. a. an Speichermethoden und Produktionssystemen und -methoden forschen. Nachfolgend werden die Universitäten mit den jeweiligen Forschungsspezialitäten vorgestellt:

Profil	Universidad Andrés Bello	
Adresse:	Av. República 237	Universidad Andrés Bello® <small>Conectar • Innovar • Liderar</small>
Tel.:	+56 8 0022 8622	
Web:	www.unab.cl	
Kurzbeschreibung: Forschung im Bereich Wasserstoffspeicherung durch Adsorption in nanostrukturierte Materialien und Katalysatormaterialien für Wasserstoffbrennzellen.		

Profil	Universidad Católica	
Adresse:	Av. Libertador Bernardo O'Higgins 340 Santiago	
Tel.:	+56 2 2354 4000	
Web:	www.uc.cl	
Kurzbeschreibung: Die Universität forscht u. a. im Bereich Wasserstoffspeicherung durch Adsorption und Verwendung von Materialien zur Nutzung des sichtbaren Lichtspektrums (Produktion mit Photokatalyse). Außerdem ist die Universität an einem Pilotprojekt beteiligt, welches darauf abzielt, den Dieselmotor des Bergbau-LKWs so zu modifizieren, dass er eine Mischung aus Diesel und Wasserstoff verwendet.		

Profil	Universidad Católica de Valparaíso	
Adresse:	Brasil 2950 Valparaíso	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
Tel.:	+56 3 2227 3000	
Web:	www.pucv.cl	
Kurzbeschreibung: Forschung im Bereich Produktion von Bio-Wasserstoff als erneuerbare Energiequelle und Wasserstoffherstellung durch anaerobe Prozesse.		

Profil	Universidad de Chile	
Adresse:	Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1058 Santiago	UNIVERSIDAD DE CHILE
Tel.:	+56 2 2978 2000	
Web:	www.uchile.cl	
Kurzbeschreibung: Forschung an biologischen Zellen, Festoxidzellen und photoelektrochemischen Zellen, Wasserstoffherstellung aus Gasreformierung oder Vergasung und Entwicklung von Materialien für Elektroden und Festoxidelektrolyseur.		

Profil **Universidad de Concepción**

Adresse: Victor Lamas 1290
Casilla 160-C

Tel.: +56 4 1220 4000

Web: www.udec.cl

Kurzbeschreibung:

Die Concepción-Universität untersucht Materialien zur Beschleunigung der katalytischen Reaktionen der Umwandlung von Biomasse-Synthesegas in Methan. Außerdem forscht sie an einem Design von Metalllegierungen und nanopartikulären Materialien für das Design von Katalysatoren, die CO₂ mit nachhaltigem Wasserstoff in Methanol umwandeln.



**Universidad
de Concepción**

Profil **Universidad de la Frontera**

Adresse: Francisco Salazar 1145

Tel.: +56 4 5232 5000

Web: www.ufro.cl

Kurzbeschreibung:

Die Universität de la Frontera untersucht die Wasserstoffherzeugung und -speicherung aus Windkraft- und Solaranlagen.



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

Profil **Universidad de Santiago de Chile**

Adresse: Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363
Santiago

Tel.: +56 2 2718 4900

Web: www.usach.cl

Kurzbeschreibung:

Die Universität Santiago de Chile forscht an Materialien für die Wasserstoffspeicherung und an der Wasserstoffproduktion mit erneuerbarer elektrischer Energie (Solarmodule und Windturbinen), die in der Brennstoffzelle gespeichert und verbraucht wird.



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Profil **Universidad Técnica Federico Santa María**

Adresse: Avenida España 1680
Valparaíso

Tel.: +56 3 2265 4000

Web: www.usm.cl

Kurzbeschreibung:

Die Universität forscht an der Wasserstoffherstellung mit Rohstoffen (u. a. Methanol, Erdöl, Ethanol und Biomasse) und an der Wasserstoffanwendung im Diesel-Verbrennungsmotor.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

11. Literaturverzeichnis

Agencia de Sostenibilidad Energética (2022): Banco Estado tiene disponible créditos para la PYME y personas, unter: <https://www.agenciase.org/bancoestado/> (Abruf vom 04.04.2022).

Agencia SE, Acceleradora AH2V (2023), unter: <https://www.agenciase.org/acceleradora-h2v/> (Abruf vom 24.01.2023).

AngloAmerican (2021): Anglo American genera la primera molécula de Hidrógeno Verde para vehículos cero carbono en Chile, unter: <https://chile.angloamerican.com/media/press-releases/pr-2021/2021-08-23.aspx> (Abruf vom 24.11.2022).

Asociación Chilena del Hidrógeno, Hidrógeno verde en minería, unter: https://h2chile.cl/wp-content/uploads/2021/11/20211118_H2V_Mineria-4-1.pdf (Abruf vom 24.11.2022).

Auswärtiges Amt (2021), Deutschland und Chile: Bilaterale Beziehungen, unter: <https://www.auswaertiges-amt.de/de/ausenpolitik/laender/chile-node/bilateral/201114> (Abruf vom 15.11.2022).

Banco Central de Chile (2022): Base de datos estadísticos – Cuentas Nacionales, unter: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_PIB_HIST_MIN/637159153139541991?cbFechaInicio=2021&cbFechaTermino=2021&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase= (Abruf vom 25.11.2022).

Banco Central de Chile (2022): Base de datos estadísticos – Sector externo, unter: https://si3.bcentral.cl/siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_BDP/MN_BDP42/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2021&cbFechaTermino=2021&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase= (Abruf vom 25.11.2022).

Banco Mundial (2021): Chile Panorama General, unter: <https://www.bancomundial.org/es/country/chile/overview> (Abruf vom 14.11.2022).

Banco Mundial (2022), Perspectiva Economías Mundiales, unter: www.bancomundial.org/es/publication/global-economic-prospects (Abruf vom 14.02.2022).

BBC (2022). El inédito bloqueo en el norte de Chile en protesta contra la inseguridad y la crisis migratoria, unter: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-60203786> (Abruf vom 09.11.2022).

Biobio Chile (2022), Precios de arriendo en la RM siguen al alza, unter: <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2022/08/05/precios-de-arriendo-en-rm-siguen-en-alza-sobre-todo-en-6-comunas-y-avisos-en-uf-se-triplican.shtml> (Abruf vom 10.11.2022).

Bloomberg NEF (2021): Emerging Markets Outlook 2021, S. 13, unter: <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2021-report.pdf> (Abruf vom 14.11.2022).

BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): PtX-Projekt „Haru Oni“: Altmaier übergibt ersten Förderbescheid für internationales Projekt für grünen Wasserstoff, unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/12/20201202-ptx-projekt-haru-oni-altmaier-uebergibt-ersten-foerderbescheid-fuer-internationales-projekt-fuer-gruenen-wasserstoff.html> (Abruf vom 22.11.2022).

BNAmericas (2022): Cupreras medianas de Chile invertirán US\$2.241mn hasta 2030, unter: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/cupreras-medianas-de-chile-invertiran-us2241mn-hasta-2030> (Abruf vom 16.12.2022).

BN Americas (2022): Retiro de centrales a carbón en Chile: la nueva capacidad requerida en escenarios de 2025 y 2030, unter: <https://www.bnamericas.com/es/analisis/retiro-de-centrales-a-carbon-en-chile-la-nueva-capacidad-requerida-en-escenarios-de-2025-y-2030> (Abruf vom 22.11.2022).

Bundeministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021), Bekanntmachung der Förderrichtlinie für internationale Wasserstoffprojekte im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie und des Konjunkturprogramms: Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken, unter: https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/8067/live/lw_bekdoc/20210410-pm-sachstand-foerderrichtlinie.pdf (Abruf vom 04.04.2022).

CNN Chile (2021). Gabriel Boric se convierte en el Presidente más votado de la historia de Chile, unter: www.cnnchile.com/elecciones2021/gabriel-boric-presidente-mas-votos-historia-chile_20211219/ (Abruf vom 10.11.2022).

CODELCO (2020): Codelco presenta inéditos compromisos de desarrollo sustentable a 2030, unter: <https://www.codelco.com/prensa/2020/codelco-presenta-ineditos-compromisos-de-desarrollo-sustentable-a-2030> (Abruf vom 25.11.2022).

Comisión Chilena del Cobre (2018): Consumo de energía y recursos hídricos en la minería del cobre al 2017, S. 10, unter: [https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20\(2018\).pdf](https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Presentaci%C3%B3n%20informe%20energ%C3%ADa%20y%20agua%20(2018).pdf) (Abruf vom 16.08.2019).

Comisión Chilena del Cobre (2019): Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2018), unter: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Analisis%20Mercado%20de%20los%20Insumos%20Cr%C3%ADticos%202019vf2.pdf> (Abruf vom 06.11.2022).

Comisión Chilena del Cobre (2021): Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2020), S. 34, unter: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Analisis%20Mercado%20de%20los%20Insumos%20Cr%C3%ADticos%202021.pdf> (Abruf vom 15.11.2022).

Consejo Minero (2022). Cifras actualizadas de la minería, <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2022/07/Cifras-Actualizadas-de-la-Mineria-2022-Junio.pdf> (Abruf vom 22.11.2022).

Corporación Alta Ley (2021): Minería verde – Oportunidades y desafíos, unter: https://corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2021/05/2021_Mineria-Verde_Oportunidades-y-Desafios_version-ligera.pdf (Abruf vom 16.12.2022).

Corfo (2018): International Call for Chilean Clean Technologies Institute, unter: https://www.oecd.org/dev/Corfo-Session_7_Chilean-Clean_Technologies_Institute.pdf (Abruf vom 04.04.2022).

CORFO (2021), Primer llamado al financiamiento de proyectos de Hidrógeno Verde en Chile, unter: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/hidrogeno-verde-chile> (Abruf vom 22.11.2022)

CORFO (2021): RFI Hidrógeno Verde, unter: https://www.corfo.cl/sites/cpp/rfi_hidrogeno_verde (Abruf vom 05.01.2023)

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2018): Tecnologías de Hidrógeno y Perspectivas para Chile, S. 95, unter: <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/04/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf> (Abruf vom 04.01.2021).

Die Botschaft der Republik Chile in Deutschland (2019): Chile und Deutschland unterzeichnen Abkommen zur Energiepartnerschaft, unter: <http://www.echile.de/index.php/de/wirtschaft1/672-chile-und-deutschland-unterzeichnen-wichtiges-abkommen-zur-energiepartnerschaft> (Abruf vom 14.05.2020).

Editec (2019): Equipos Mineros, unter: https://www.imercados.cl/equipamiento/country_tax/chile/ (Abruf vom 15.11.2019).

El Libero (2022): El invento chileno que podría resolver la crisis que provocará el cierre de Ventanas, unter: <https://ellibero.cl/actualidad/el-invento-chileno-que-podria-resolver-la-crisis-que-provocara-el-cierre-de-ventanas/> (Abruf vom 24.11.2022).

El País (2022), La Inflación crece en Chile el 13,1% interanual, el mayor índice desde 1994, unter: <https://elpais.com/chile/2022-08-08/la-inflacion-crece-en-chile-el-131-interanual-el-mayor-indice-desde-1994.html> (Abruf vom 10.11.2022).

Emol (2022), Pandemia, incertidumbre política y China: Las razones detrás de las pobres proyecciones económicas para Chile, unter: <https://www.emol.com/noticias/Economia/2022/10/23/1076310/razones-desfavorable-escenario-economico-chile.html> (Abruf vom 10.11.2022).

Energía Abierta (2019): Reporte Mensual ERNC Julio 2019, S. 2, unter: https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/07/RMensual_ERNC_v201907.pdf (Abruf vom 08.01.2021).

Energía Abierta (2020): Balance nacional de energía – 2019, unter: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/> (Abruf vom 04.11.2022).

Energy Partnership Chile-Alemania (2022), Acerca de la Alianza Energetica, unter: <https://www.energypartnership.cl/es/home/> (Abruf vom 15.02.2022).

Euler Hermes (2021), Euler Hermes Country Risk Ratings, unter: https://www.eulerhermes.de/content/dam/onemarketing/ehndbx/eulerhermes_de/dokumente/countryriskratings-q4-2021.pdf (Abruf vom 15.02.2022).

Fraunhofer Chile Research Foundation (2019): Präsentation des Seminars „Hidrógeno“, 08.11.2019, S. 10.

German Trade & Invest (2022): Wirtschaftsdaten kompakt: Chile (Mai 2022), unter: https://www.gtai.de/resource/blob/584774/858e3ec7d902139e6codco4d63903e01/GTAI-Wirtschaftsdaten_Mai_2022_Chile.pdf (Abruf vom 10.11.2022).

Germany Trade & Invest (2017): Kreditvergabe und Zahlungsmoral – Chile, unter: <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/zahlungsverhalten/chile/kreditvergabe-und-zahlungsmoral-chile-10680> (Abruf vom 06.01.2021).

Germany Trade & Invest (2018): Vertrieb und Handelsvertretersuche – Chile, unter: <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/vertrieb/chile/vertrieb-und-handelsvertretersuche-chile-9696> (Abruf vom 06.01.2021).

Germany Trade&Invest (2021), Wirtschaftsdaten kompakt: Chile (November 2021), unter: https://www.gtai.de/resource/blob/584774/a6e894e4551a8e1895561184e4cof33d/GTAI-Wirtschaftsdaten_November_2021_Chile.pdf (Abruf vom 15.02.2022).

GIZ Chile (2022): GIZ lanza herramienta para evaluar proyectos de producción de hidrógeno verde, unter: <https://4echile.cl/noticias/giz-lanza-herramienta-para-evaluar-proyectos-de-produccion-de-hidrogeno-verde/> (Abruf vom 16.12.2022).

H2 Chile (2022): BID y Banco Mundial disponen financiamiento por hasta US\$750 millones para proyectos de Hidrógeno Verde en Chile, unter: <https://h2chile.cl/bid-y-banco-mundial-disponen-financiamiento-por-hasta-us750-millones-para-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-chile/> (Abruf vom 31.01.2023).

Institute of Economics an Peace (2021), Global Peace Index 2021, unter: <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2021/06/GPI-2021-web-1.pdf> (Abruf vom 15.02.2022).

IRENA International Renewable Energy Agency (2021): Making the Breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_Hydrogen_breakthrough_2021.pdf?la=en&hash=40FA5B8AD7AB1666EECBDE30EF458C45EE5A0AA6 (Abruf vom 22.11.2022).

Interview mit Ana María Ruz Frías, Leiterin des Grünen H2 Ausschusses, CORFO, am 20.01.2023.

Kraatz, Tobias (2018): Outbound-Investitionen deutscher Unternehmen in Chile: Wirtschaftsbeziehungen ohne Doppelbesteuerungsabkommen – Im Einklang mit dem globalen Wettbewerb?, Masterarbeit Studiengang Master of Arts – Taxation, vorgelegt an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, S. 50 ff.

McKinsey & Company Chile Limitada (2021): Estudio base para la elaboración de la estrategia nacional para el desarrollo de hidrógeno verde en Chile

Minería Chilena (2021): BHP entra en la carrera del hidrógeno verde con proyecto piloto en minera Spence, unter: <https://www.mch.cl/2021/01/14/bhp-entra-en-la-carrera-del-hidrogeno-verde-con-proyecto-piloto-en-minera-spence/#> (Abruf vom 24.11.2022).

Minería Chilena (2022): Proyecto de H2 en minería gana concurso de hidrógeno verde de la AgenciaSE, unter: <https://www.mch.cl/2022/01/20/proyecto-de-h2-en-mineria-gana-concurso-de-hidrogeno-verde-de-la-agenciase/> (Abruf vom 24.11.2022).

Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2020): Conoce la Ley, unter: <https://www.economia.gob.cl/ley-pago-a-30-dias/conoce-la-ley> (Abruf vom 04.01.2021).

Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2020): Implementación, unter: <https://www.economia.gob.cl/ley-pago-a-30-dias/implementacion> (Abruf vom 06.01.2021).

Ministerio de Energía (2020): Estrategia Nacional Hidrógeno verde: Resumen Ejecutivo, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional_hidrogeno-verde_vdef.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

Ministerio de Energía (2020): Estrategia Nacional Hidrógeno Verde, unter https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf (Abruf vom 22.11.2022).

Ministerio de Energía (2020): Gobierno presenta la Estrategia Nacional para que Chile sea líder mundial en hidrógeno verde, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-presenta-la-estrategia-nacional-para-que-chile-sea-lider-mundial-en-hidrogeno-verde#:~:text=La%20estrategia%20nacional%20de%20hidr%C3%B3geno,electr%C3%B3lisis%20en%20desarrollo%20al%202025> (Abruf vom 28.10.2022).

Ministerio de Energía (2021), Chile adjudica USD\$50 millones para proyectos de hidrógeno verde, unter: <https://www.energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-adjudica-usd50-millones-para-proyectos-de-hidrogeno-verde#:~:text=Chile%20adjudica%20usd%2450%20millones%20para%20proyectos%20de%20hidr%C3%B3geno%20verde,-28%20Dic%202021&text=El%20Gobierno%20de%20Chile%20anunci%C3%B3,brechas%20y%20crear%20experiencia%20temprana> (Abruf vom 04.04.2022).

Ministerio de Energía (2021): Estrategia hidrogeno verde Chile, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/1_-_estrategia_-_camilo_aviles_min_energia.pdf (Abruf vom 21.11.2022).

Ministerio de Energía (2021): Gobierno abre convocatoria para desarrollar proyectos de hidrógeno verde en Chile, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-abre-convocatoria-para-desarrollar-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-chile> (Abruf vom 22.11.2022).

Ministerio de Energía (2021): Potenciales de Energías Renovables PELP 2023-2027, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/potencial_renovable_-_pelp2023-2027_ago2021.pdf (Abruf vom 10.11.2022).

Ministerio de Energía (2022): En Rancagua presentan prototipo de Hidrógeno Verde para vehículos mineros, unter: <https://energia.gob.cl/noticias/libertador-general-bernardo-ohiggins/en-rancagua-presentan-prototipo-de-hidrogeno-verde-para-vehiculos-mineros> (Abruf vom 24.11.2022).

Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2020): Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones, unter: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf, S. 11 (Abruf vom 27.10.2022).

MINSAL (2021). COVID-19: Gobierno anuncia fin del Estado de Excepción, unter www.minsal.cl/covid-19-gobierno-anuncia-fin-del-estado-de-excepcion/ (Abruf vom 10.11.2022).

Noticias UdeC (2022): UdeC, Corfo y Codelco avanzan en piloto para crear cobre con cero emisiones y residuos, unter: <https://noticias.udec.cl/udec-corfo-y-codelco-avanzan-en-piloto-para-crear-cobre-con-cero-emisiones-y-residuos/> (Abruf vom 24.11.2022).

OUR WORLD in DATA (2022). Coronavirus (COVID-19) Vaccinations, unter https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=OWID_WRL (Abruf vom 09.11.2022).

Ovejero Noticias (2022): 42 proyectos de Hidrógeno Verde se desarrollan en Chile, de los cuales 8 en la región de Magallanes, unter: <https://www.ovejeronoticias.cl/2022/12/42-proyectos-de-hidrogeno-verde-se-desarrollan-en-chile-de-los-cuales-8-en-la-region-de-magallanes-fundacion-terram/> (Abruf vom 20.12.2022).

Portal Minero (2022): Minera Centinela inicia prueba de prototipo para usar hidrógeno en camiones mineros, unter: <https://www.portalminero.com/wp/minera-centinela-inicia-prueba-de-prototipo-para-usar-hidrogeno-en-camiones-mineros/> (Abruf vom 24.11.2022).

Reporte Minero (2023): Corfo y BID afinan condiciones del crédito que impulsará la industria de hidrógeno verde en Chile, unter: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2023/01/corfo-bid-condiciones-credito-industria-hidrogeno-verde> (Abruf vom 02.01.2023).

Reporte Sostenible (2020): Producción de Hidrógeno Verde en Chile, la ruta hacia la sustentabilidad energética, unter: <http://reportesostenible.cl/hidrogeno-verde-el-combustible-de-hoy/produccion-de-hidrogeno-verde-en-chile-la-ruta-hacia-la-sustentabilidad-energetica/> (Abruf vom 06.01.2021).

Revista Electricidad (2019): Foronor 2019 - hidrógeno verde en minería aportaría 20% en meta de carbono neutralidad, unter: <http://www.revistaeci.cl/2019/10/02/foronor-2019-hidrogeno-verde-en-mineria-aportaria-20-en-meta-de-carbono-neutralidad/#> (Abruf vom 04.11.2022).

Revista Ingeniería Industrial Año 16 N°2 (2017): Cálculo del consumo de combustible y emisiones de CO₂ de camiones mineros, mediante simulación discreta, unter: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/download/3316/3414/> (Abruf vom 15.11.2019).

Sernageomin (2022): Anuario de la Minería 2021, unter: https://www.sernageomin.cl/pdf/Anuario_de_la_mineria_de_chile_2021_v_30062022.pdf (Abruf vom 25.11.2022).

Servel (2022), Votación Plebiscito Constitucional 2022, unter: https://www.servelecciones.cl/#/votacion/elecciones_constitucion/global/19001 (Abruf vom 10.11.2022).

Statistisches Bundesamt (2021), Rangfolge der Handelspartner im Außenhandel der Bundesrepublik Deutschland, unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Aussenhandel/Tabellen/rangfolge-handelspartner.pdf> (Abruf vom 15.02.2022).

Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales (2022), Acuerdos de Libre Comercio, unter: <https://www.subrei.gob.cl/preguntas-frecuentes/acuerdos-de-libre-comercio> (Abruf vom 15.11.2022).

Tagesschau (2022), Neue Verfassung für Chile abgelehnt, unter: <https://www.tagesschau.de/ausland/amerika/chile-verfassung-ablehnung-103.html> (Abruf vom 10.11.2022).

Time (2022), Chile rejects new constitution referendum, unter: <https://time.com/6210924/chile-rejects-new-constitution-referendum/> (Abruf vom 10.11.2022).

Trading Economics (2022), Inflation Rate America, unter: <https://tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate?continent=america> (Abruf vom 10.11.2022).

Universidad de Santiago de Chile (2020): Diplomado en Economía del Hidrógeno, unter: <http://www.diq.usach.cl/wp-content/uploads/2020/10/Diplomado-en-Economi%CC%81a-del-Hidro%CC%81geno1.pdf> (Abruf vom 07.01.2021).

Universidad Técnica Federico Santa María (2020): USM desarrollará diplomado en tecnologías aplicadas en hidrógeno verde, unter: <https://eli.usm.cl/2020/11/11/usm-desarrollara-diplomado-en-tecnologias-aplicadas-en-hidrogeno-verde/> (Abruf vom 07.01.2021).

Wirtschaftswoche (2022): Wieso die Pilotfabrik für deutsche E-Fuels in Patagonien entsteht, unter: <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/e-mobility/wirtschaft-von-oben-169-energieboom-in-patagonien-wieso-die-pilotfabrik-fuer-deutsche-efuels-in-patagonien-entsteht/28546284.html> (Abruf vom 22.11.2022).

