REPIC

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO

Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht :

Schweizer Feinstaubfilter als Massnahme gegen die hohe Luftverschmutzung in den Städten im Süden Chiles

Autor(en):

Daniel Jud, Michel Revaz	OekoSolve AG, Schmelzeweg 2, 8889 Mels-Plons SG, Schweiz daniel.jud@oekosolve.ch, michel.revaz@oekosolve.ch
Bernhard Eggen (Projektleiter)	Belmont Energie Raum GmbH, Brechbühlerstrasse 17, 3006 Bern, Schweiz eggen@bm-energie-raum.ch
Juan Antonio Bijit (Koordinator Chile)	Bijit Proyectos, Cuadro de los Potros 1.100, La Reserva, Coyhaique, Chile jabijit@gmail.com

Datum des Berichts: 7. September 2022	Vertragsnummer: 2019.06
Institution:	Land: Chile

Ausgearbeitet durch:
Belmont Energie Raum GmbH
Brechbühlerstrasse 17, CH-3006 Bern
Tel: +41 79 667 80 02; eggen@bm-energie-raum.ch

OekoSolve AG
Schmelzeweg 2, CH-8889 Mels-Plons SG
Tel: +41 81 511 63 00; daniel.jud@oekosolve.ch, https://oekosolve.com

Mit Unterstützung der:
REPIC Plattform
c/o NET Nowak Energie & Technologie AG
Waldweg 8, CH-1717 St. Ursen
Tel: +41(0)26 494 00 30, Fax: +41(0)26 494 00 34, info@repic.ch / www.repic.ch

Die REPIC-Plattform ist ein Mandat von:
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO
Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA
Bundesamt für Umwelt BAFU
Bundesamt für Energie BFE

Der oder die Autoren sind allein verantwortlich für Inhalt und Schlussfolgerungen des Berichtes.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung 4
2. Abstract / Résumé 5
3. Ausgangslage 6
4. Ziele 7
5. Projektreview 7
   5.1 Umsetzung des Projekts 7
   5.2 Zielerreichung und Resultate 11
   5.3 Vorbereitung der Multiplikation / Replikation 13
   5.4 Wirkung / Nachhaltigkeit 14
6. Ausblick / weiteres Vorgehen 14
   6.1 Multiplikation / Replikation 14
   6.2 Erwartete Wirkung / Nachhaltigkeit 16
7. Lessons Learned / Fazit 16
8. Referenzen 17
9. Anhang 18

1. Zusammenfassung

Die Luftverschmutzung in den Städten in Südchile - insbesondere durch Feinstaub verursacht durch das zum Heizen und Kochen verwendete Holz - ist ein grosses Problem für die Gesundheit der Menschen. Mitverursacher sind zahlreiche von der armen Bevölkerung zum Heizen und Kochen genutzte Holzheizherde (5'000-7'000 in der Stadt Coyhaique). Diese Nutzung entspricht der Kultur und Tradition der Gegend. Die Regierung hat Pläne zur Luftreinhaltung erarbeitet. Danach sollen die Feuerungen durch neue Systeme mit tiefen Emissionen ersetzt werden. Holzheizherde mit tiefen Emissionswerten sind aber nicht auf dem Markt und die Umstellung auf andere Systeme für viele nicht finanzierbar. In dieser Situation sind elektrostatische Filter eine gute, relativ kostengünstige Lösung für einen deutlich umweltfreundlicheren Betrieb der bestehenden Anlagen. Die bisherigen von REPIC unterstützten Projekte zur Reduktion der Feinstaubemissionen haben eine langfristige Wirkung. Mit der Multiplikation von Feinstaubfiltern kann die Luftqualität bereits kurzfristige verbessert werden.

In Zusammenarbeit mit der Stadt Coyhaique, deren Schweizer Partnerstadt Bern, des «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» als Vertreter der Regionalregierung von Aysén, der Agencia de Sostenibilidad Energética des Energieministeriums, der Universidad de Santiago, der Firma Potencial als Entwickler des noch nicht marktfähigen Filters MPzero wurde dieses Pilotprojekt mit dem bewährten elektrostatischen Filter OekoTube der Schweizerfirma OekoSolve AG vorwiegend in einem Armenquartier durchgeführt, um Erfahrungen in diesem Umfeld zu sammeln. Wegen der Corona-Pandemie war das Projekt schwierig abzuwickeln und hat sich entsprechend in die Länge gezogen.

Von Januar 2020 bis Juli 2021 wurden 40 OekoTube und 5 MPzero-Filter installiert sowie die Anlagen zehn Mal vom Projektteam besucht und damit die Erfahrungen erfasst. Die Universität Santiago hat mit Messungen aufgezeigt, dass damit etwa 70 % des Feinstaubes zurückgehalten werden kann.

Grundsätzlich sind die Erfahrungen mit den installierten OekoTube-Filtern gut. Technisch haben sich die Systeme auch im sehr schwierigen Umfeld von Patagonien bestens bewährt. Kein Filter ist wegen technischen Problemen ausgefallen. Betrieblich sind aber einige Probleme aufgetreten, die durch den Pilotbetrieb erkannt wurden. Bei etwa einem Drittel der Anlagen traten keine Probleme auf und die Nutzer sind zufrieden und in der Lage, die Filter monatlich zu reinigen. Bei anderen Filtern zeigten sich Probleme, deren Ursache im Wesentlichen beim unsachgemässen Feuern oder der Vernachlässigung der Reinigung liegen. So sind Teerbildungen und sogar einzelne Filterbrände aufgetreten, die zwingend vermieden werden müssen. Aus diesem Grunde wurden Sofortmassnahmen eingeleitet. So erhielten die Betreiber Anweisungen und Thermometer zur Überwachung der Abgastemperatur und einzelne Anlagen wurden mit Messboxen ausgerüstet, über die der Betrieb des Filters übers Internet dauernd überwacht sind.

Bei richtiger Anwendung sind die Filter eine Variante, wie die vor allem bei der armen Bevölkerung verbreitet eingesetzten Holzheizherde umweltfreundlich weiter genutzt und damit der vermehrte Einsatz von fossilen Brennstoffen vermieden werden kann.

Mit einer schrittweisen Multiplikation soll vermieden werden, dass noch nicht erkannte Probleme im Betrieb den weiteren Erfolg der Umsetzung beeinträchtigen. So werden den regionalen Verantwortlichen in einem Multiplikationskonzept folgende Schritte vorgeschlagen:

Phase 1: In einer nächsten Phase soll mit einer Informationskampagne das schadstoffarme Heizen zusätzlich gefördert, der weitere Einsatz von Filtern mit Schulungen vorbereitet sowie die Weiterentwicklung und Kostenoptimierung (Teilproduktion in Chile) des Filters angegangen werden.

Phase 2 : Anschliessend sollen 100-200 Anlagen mit leicht modifizierten Elektrofiltern ausgerüstet sowie ein Jahr betrieben und überwacht werden.

Phase 3: Bei einem erfolgreichen Abschluss der Phase 2 wird das Projekt auf 1000 Filter ausgedehnt, die in Coyhaique und anderen Städten Patagoniens eingesetzt werden können.

Ohne die Finanzierung der Filter über staatliche Programme kann aber keine Multiplikation erfolgen.

2. Abstract / Résumé

Air pollution in the cities of southern Chile - especially fine dust caused by the wood used for heating and cooking - is a major problem for people's health. A contributory cause is the large number of wood cookers used by the poor population for heating and cooking (5,000-7,000 in the city of Coyhaique). This use corresponds to the culture and tradition of the area. The government has developed plans for air pollution control. According to these plans, the stoves are to be replaced by new systems with low emissions. However, wood-burning cookers with low emission values are not on the market and the conversion to other systems is not affordable for many. In this situation, electrostatic filters are a good, relatively inexpensive solution for a much more environmentally friendly operation of the existing systems. The projects supported by REPIC so far to reduce particulate matter emissions have a long-term effect. With the multiplication of fine dust filters, air quality can already be improved in the short term.

In cooperation with the city of Coyhaique, its Swiss partner city Bern, the "Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)" as representative of the regional government of Aysén, the Agencia de Sostenibilidad Energética of the Ministry of Energy, the Universidad de Santiago, the company Potencial as the developer of the MPzero filter, which is not yet marketable, this pilot project was carried out with the proven electrostatic filter OekoTube from the Swiss company OekoSolve AG, mainly in a poor neighbourhood, in order to gain experience in this environment. Due to the Corona pandemic, the project was difficult to carry out and was accordingly protracted.

From January 2020 to July 2021, 40 OekoTube and 5 MPzero filters were installed, and the project team visited the facilities ten times to gather experience. The University of Santiago has shown with measurements that about 70 % of the fine dust can be retained.

Basically, the experience with the installed OekoTube filters is good. Technically, the systems have also proven themselves in the very difficult environment of Patagonia. No filter has failed due to technical problems. Operationally, however, some problems have occurred that were identified during the pilot operation. In about one third of the installations, no problems occurred and the users are satisfied and able to clean the filters monthly. Other filters showed problems, the cause of which was essentially improper firing or neglect of cleaning. Tar formation and even individual filter fires have occurred, which must be avoided at all costs. For this reason, immediate measures were initiated. For example, the operators received instructions and thermometers to monitor the flue gas temperature, and individual plants were equipped with measuring boxes that continuously monitor the operation of the filter via the Internet.

If used correctly, the filters are a way of continuing to use the wood cookers, which are widely used by the poor population in particular, in an environmentally friendly way, thus avoiding the increased use of fossil fuels.

With a step-by-step multiplication, it is to be avoided that not yet recognised problems in operation impair the further success of the implementation. The following steps are proposed to the regional authorities in a multiplication concept:

Phase 1: In the next phase, low-emission heating is to be additionally promoted with an information campaign, the further use of filters is to be prepared with training courses, and the further development and cost optimisation (partial production in Chile) of the filter is to be tackled.

Phase 2: Subsequently, 100-200 systems are to be equipped with slightly modified electrostatic precipitators and operated and monitored for one year.

Phase 3 : If phase 2 is successfully completed, the project will be extended to 1000 filters that can be used in Coyhaique and other cities in Patagonia.

However, without funding for the filters through government programmes, multiplication cannot take place.

3. Ausgangslage

3.1 Luftqualität in Patagonien

In Coyhaique lag die Belastung von Feinstaub im Jahre 2016 während 127 Tagen über 200 µg/m³N, während 63 Tage sogar über dem Alarmwert von 330 µg/m³N mit Spitzenwerten bis gegen 1'000 µg/m³N. Die WHO-Empfehlung für die Langzeitbelastung von MP2.5 liegt bei 5 µg/m³N und für MP10 bei 20 µg/m³N.
Diese schwierige Situation dokumentieren auch die in Abbildung 1 aufgezeigten Messwerte vom 2./3. Juni 2018.

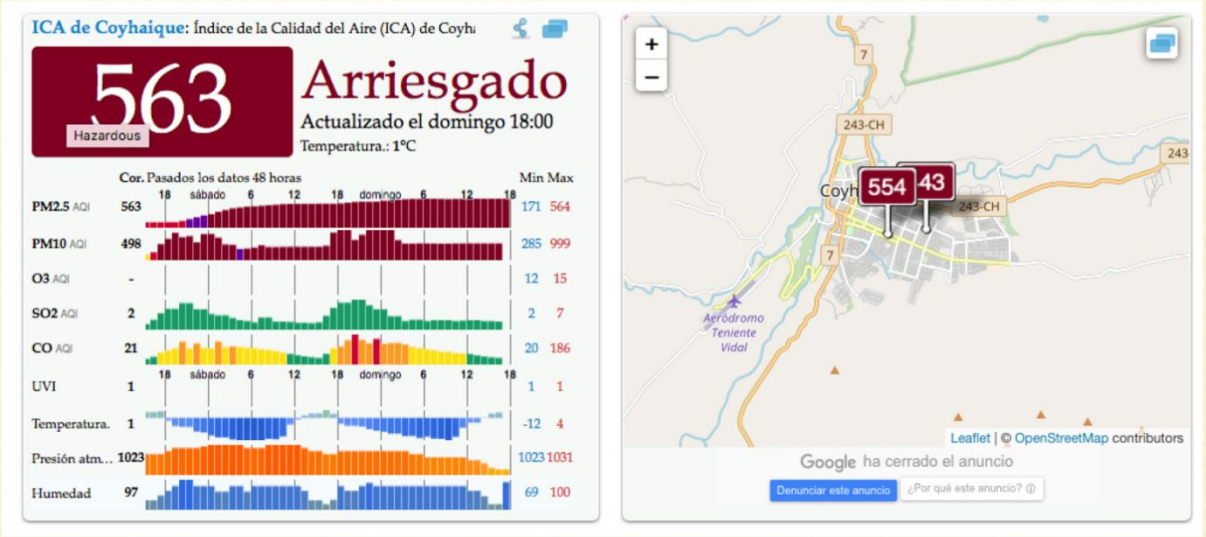

Abbildung 1: Messwerte Coyhaique 2./3. Juni 2018

Mit mobilen Messungen hat die Universität de Aysén gezeigt, dass in einzelnen Gebieten noch eine deutlich höhere Belastung durch Feinstaub auftreten kann.

In Coyhaique führt die hohe Luftschadstoffbelastung nachweislich zu deutlich vermehrten Erkrankungen der Atemwege und damit verbundenen erhöhten Sterblichkeit[1]. Unter der hohen Luftverschmutzung leiden vor allem die Kinder und ältere Menschen. Coyhaique galt bei Projektbeginn als die Stadt mit der höchsten Luftverschmutzung von ganz Lateinamerika.

1 "Impacto de la contaminación del aire por MP10 en la morbi-mortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos canceres en la población de Coyhaique 2009-2014, Marco Andres Acuña Briones, Univesidad de Chile (2015).

3.2 Heizsysteme in Coyhaique

Mitverursacher der schlechten Luftqualität sind zahlreiche von der armen Bevölkerung zum Heizen und Kochen genutzte Holzheizherde (5000-7000 in der Stadt Coyhaique), die teilweise noch mit nassem Holz befeuert werden. Diese Nutzung entspricht der Kultur und Tradition der Gegend. Holzheizherde mit tiefen Emissionswerten sind aber nicht auf dem Markt und die Umstellung auf andere Systeme für viele nicht finanzierbar. In dieser Situation sind elektrostatische Filter eine gute, relativ kostengünstige Lösung für einen deutlich umweltfreundlicheren Betrieb der bestehenden Anlagen.
Neuere Gebäude werden mit Pellet- und fossilen Heizkesseln sowie elektrisch beheizt. Wärmepumpen sind nur vereinzelt im Einsatz.

3.3 Massnahmen zur Luftreinhaltung

<u>Planes de Descontaminació Atmosférica</u>
Das Ministerio del Medio Ambiente hat regionale Massnahmenpläne zur Reduktion der Umweltbelastung erarbeiten lassen. Danach sollen die Feuerungen durch neue Systeme mit tiefen Emissionen ersetzt werden.

Programm „Recambio de calefactores“
Das vom Umweltministerium durchgeführte Programm für den Austausch von Heizungen zielt darauf ab, die durch die Verbrennung von Holz in Privathaushalten verursachten Schadstoffemissionen zu verringern. Im Rahmen dieses Programms können die Begünstigten ein neues Heizgerät erhalten, wenn sie ihr altes Heizgerät und/oder ihren alten Herd abgeben, die in der Wohnung installiert und in Gebrauch sein müssen. Mit zeitlich gestaffelten Angeboten werden Pellet-, Petroleum- und Elektroheizungen angeboten.
Eine Umstellung auf andere Systeme ist für viele nicht finanzierbar, da die Betriebskosten (Brennstoff) deutlich höher sind. Diese Austauschprogramme zielen primär auf eine Reduktion der Feinstaubbelastung. Das Bewusstsein für die Reduktion von CO_2-Emissionen scheint noch nicht stark entwickelt zu sein.

3. Ziele

Das Projekt verfolgt folgende Ziele:

- Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität bei Nutzung von erneuerbarer Energie
- Überprüfen der Umsetzung und des Betriebes der elektrostatischen Filter bei den lokalen Verhältnissen.
- Konzept und erste Schritte für erfolgreiche Multiplikation in Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren

Mit diesem Projekt soll eine Lösung für den umweltfreundlichen Betrieb primär von Holzheizherden aufgezeigt und die Substitution von Holz durch nicht erneuerbare Energieträger vermieden werden. Dies kommt vor allem der ärmeren Bevölkerung zugute. Auch wird aufgezeigt, dass der Elektrofilter bei bestehenden, noch lange nicht abgeschriebenen Holzkesseln den Ausstoss von Feinstaub massiv verbessern kann.
Weiter wird die technische und finanzielle Tauglichkeit des Produktes bei den konkreten Rahmenbedingungen in Coyhaique überprüft und die Wirksamkeit demonstriert.
Darauf basierend erarbeitet das Projektteam in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern im Folgenden ein Konzept für eine wirksame Multiplikation des Systems.

4. Projektreview

5.1 Umsetzung des Projekts

Finanzierung

Insbesondere infolge der längeren Projektdauer haben sich die Projektkosten erhöht. Damit ergeben sich folgende Finanzierungsanteile:

37%	REPIC-Fonds
43%	schweizer-chilenisches Projektteam
11%	Regionalregierung Aysén
4%	Stadt Bern
5%	diverse

Mit dem Projektstart im Herbst 2019 musste uns die Stadt Coyhaique mitteilen, dass sie entgegen der schriftlichen Zusicherung den Projektbeitrag von 35 Mio. CLP nicht zahlen könne. Darauf folgte eine Anfrage bei der Regionalregierung von Aysén. Es dauerte dann bis am 13. März 2020 bis die Regierung diesen Beitrag sprechen konnte. Da das Geld offenbar nicht direkt ausbezahlt werden konnte, sollte die Zahlung über das «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» laufen und gleichzeitig wissenschaftliche Studien durchgeführt werden. Wegen den Problemen mit Covid-19 verzögerte sich die entsprechende Zahlungsverfügung der Regionalregierung an CIEP dann bis Juli 2020.

Damit kein Geld über die Schweiz fliesst, wurde entschieden, dass mit dem chilenischen Beitrag ein grosser Teil der Aufwendungen unseres Koordinators Juan Antonio Bijit in Coyhaique bezahlt wird. In der Folge hat Bijit Proyectos mit CIEP einen Vertrag abgeschlossen, der nach der definitiven Zusicherung des Regierungsbeitrages Ende August 2020 unterzeichnet wurde.

Projektpartner

Die Zusammenarbeit mit unserem Projektpartner und lokalen Koordinator Juan Antonio Bijit ist ausgesprochen gut. Durch seine fachliche und soziale Kompetenz sowie seine Verlässlichkeit hat sich ein grosses Vertrauensverhältnis gebildet. Über Juan Antonio Bijit ist auch eine gute Zusammenarbeit mit den Hausbesitzern gewährleistet. Sein Team ist in der Lage selbständig die Filteranlagen komplett zu installieren.

Auch die Unterstützung durch die Stadt Coyhaique war zu Beginn des Projektes mit einer engagierten Mitarbeiterin sichergestellt. Im April 2021 fanden dann nach einer durch Covid-19 bedingten Verschiebung Neuwahlen in der Stadt Coyhaique und der Region Aysén statt. Bei beiden Regierungen änderten die Ansprechpersonen. Im März 2022 haben nach den Neuwahlen auf nationaler Ebene auch die für die Umsetzung des Multiplikationskonzeptes wichtigen Regionalsekretäre (SEREMI de Medio Ambiente, de Energía sowie de Vivienda y Urbanismo) gewechselt. Vom Dezember 2021 bis Juni 2022 standen keine Ansprechpartner zur Verfügung. Am 10. Juni 2022 konnte mit Julián A. Cárdenas Cornejo dem neuen SEREMI de Medio Ambiente in einem Videomeeting das Projekt besprochen werden. Es war ein interessanter Austausch. Er findet die elektrostatischen Filter eine gute Lösung. Entscheidung zur Multiplikation können aber erst nach Abschluss der Studien von CIEP erwartet werden. Diese sollen Ende 2022 vorliegen.

Die Zusammenarbeit mit «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» war von Beginn an schwierig. Im Sommer 2021 führten wir zwei Videositzungen mit den Zuständigen durch und hatten die Hoffnung, dass damit eine konstruktive Zusammenarbeit beginnen konnte. In diesen Besprechungen haben wir im Wesentlichen wichtige Informationen zu den Filtern geliefert. Vorgängig haben wir CIEP einen Filter zum Ausmessen in ihrem neuen Messlabor zur Verfügung gestellt. Als wir dann mehr über ihre Messresultate und die verschiedenen Studien erfahren wollten, wurde die Zusammenarbeit von CIEP aufgekündigt mit der Begründung, sie dürften uns erst nach der Freigabe durch den Auftraggeber – d.h. die Regionalregierung – Resultate bekannt geben.

Es war geplant, mit den lokalen Produzenten von Holzheizherden ein Produkt mit integriertem Filter zu entwickeln. Am 27. Januar 2020 organisierte das Projektteam in Coyhaique einen Workshop zu diesem Thema. Leider mussten wir feststellen, dass diese Firmen nicht innovativ sind. Nachdem klar war, dass in Chile in einem Gesamtsystem mit neuen Holzherden eingesetzten Filtern eine Zertifizierung erforderlich ist – bei Nachrüstungen aber nicht, wurde diese Zusammenarbeit nicht weitergeführt.

Mit der Begleitgruppe wurde am 29. Januar 2020 eine erste Sitzung durchgeführt. Dabei erfolgte eine Videoschaltung mit dem Amt für Umweltschutz der Stadt Bern. Danach fanden verschiedene direkte Gespräche mit den wichtigsten Vertretern statt und alle Mitglieder wurden zwischenzeitlich mittels Mail-Informationen auf dem Laufenden gehalten. Durch den oben erwähnten personellen Wechsel infolge Neuwahlen wurde die Begleitgruppe nicht mehr einberufen, sondern mit den wichtigsten Vertretern direkt Kontakt aufgenommen. Das Multiplikationskonzept wird allen Mitgliedern der Begleitgruppe zugestellt.

Die Unterstützung durch die Schweizerbotschaft in Santiago war sehr wertvoll. So hat zum Beispiel der Botschafter Arno Wicky die durch die Coronasituation geschaffene Blockade der Finanzzusicherung der Regionalregierung durch eine Intervention beim entsprechenden Ministerium lösen können. Auch hat die Botschaft den unten beschriebenen Online-Workshop organisiert.

Anpassung der Projektziele

Mit den oben beschrieben Problemen mit der chilenischen Projektfinanzierung, der damit verursachten zusätzlichen Integration von weiteren Projektpartnern (CIEP), dem Wechsel wichtiger Ansprechpartner durch Neuwahlen als Folge der aufgetretenen Verzögerungen und den massiven Einschränkungen infolge Covid-19 war vom Projektteam eine grosse Flexibilität gefragt.

Die Projektziele blieben aber gleich. Hingegen konnten die ersten Schritte für eine erfolgreiche Multiplikation mit den lokalen Akteuren noch nicht so weit vorangebracht werden, wie dies im Projektantrag vorgesehen war.

Informationen

Mit drei Mail-Informationen wurden die Begleitgruppe und weitere interessierte Kreise (auch in Temuco) am 3. April 2020, 6. September 2020 und 25. November 2021 über den Arbeitsstand und erste Ergebnisse informiert.

Auf die Installation eines Feinstaubfilters zu Demonstrationszwecken in der Heizanlage der Berufsschule «Liceo Profesional Juan Pablo II» wurde nach der an der Begehung Ende Januar 2020 vorgefundenen Situation verzichtet. Mit zwei Videos von 3 und 10 Minuten soll die Öffentlichkeit wirksamer über das Projekt informiert werden[2]. Der kurze Film illustriert die Anwendung der Filter und in Interviews mit Hausbesitzerinnen, der «SEREMI de Media Ambiente» und dem Schweizerbotschafter wird die Bedeutung aufgezeigt.

Auf Initiative der Schweizerbotschaft fand am 2. Dezember 2020 ein 1 ½-stündiger Online-Workshop «Descontaminación atmosférica y mejor uso de la energía en la comuna de Coyhaique – el apoyo de la cooperación suiza» mit Teilnahme des Projektleiters statt.

Abbildung 2: Ausschreibung Webinar

2 https://www.youtube.com/watch?v=Ricwot4I9n0

Produktion und Installation

Nach der Zusicherung des Beitrags von REPIC hat OekoSolve den Filter in einem ersten Schritt – auf die einfachen Verhältnisse in Chile abgestimmt – leicht modifiziert. Vorerst wurden 10 Filter hergestellt. Nach dem positiven Entscheid der Regionalregierung hat OekoSolve AG 30 weitere Elektrofilter produziert. Da die vertraglichen Regelungen auf sich warten liessen, verzögerte sich die Lieferung nach Chile bis Juli 2020.

Zur Imagepflege konnten fünf stadtbekannte Personen (VIP) gefunden werden, bei denen der Filter zu einem Spezialpreis von CHF 500.- eingesetzt wurde.

Da kein vernünftiger Weg gefunden wurde, die Filter ohne Zollabgaben zu importieren, konnten weniger Filter als geplant im Projekt eingesetzt werden.

In enger Zusammenarbeit mit Pamela Cardenas von der Stadtverwaltung von Coyhaique hat unser Koordinator Juan Antonio Bijit die möglichen Standorte für den Einsatz der Filter bestimmt. An Informationsabenden wurden die Eigentümer der ersten Serie in das Projekt eingeführt. In einer schriftlichen Vereinbarung haben sich die Nutzer verpflichtet, den ihnen leihweise zur Verfügung gestellten Filter nach einer Anweisung zu warten und zu reinigen. Wegen den Einschränkungen durch Covid-19 konnten dann weitere Informationsanlässe aber nicht durchgeführt werden. Die Anweisungen und Schulungen beschränkten sich nur noch auf die Besuche des Projektteams.

Ende Januar 2020 wurden die ersten 10 Filter installiert. Dabei hat OekoSolve das Team von Bijit Proyectos geschult. Die weiteren Installationen konnten dann ab Juli 2020 angegangen werden und dauerten durch Codid-19 bedingt bis Juli 2021. Insgesamt wurden 40 OekoTube- und 5 MPzero-Filter eingebaut. Vier wurden noch während dem ersten Betriebsjahr demontiert und an einem anderen Ort wieder eingesetzt.

Die Installation erfolgte in zwei Schritten: Zunächst wurde ein elektrischer Anschluss auf das Dach des Hauses gezogen. Danach erfolgte die Installation der Filter durch den Austausch des letzten Außenrohrs.

Zum Nachweis des Stromverbrauchs wurden 10 Elektromessungen nach Chile geliefert und bei beiden Filterfabrikaten eingebaut.

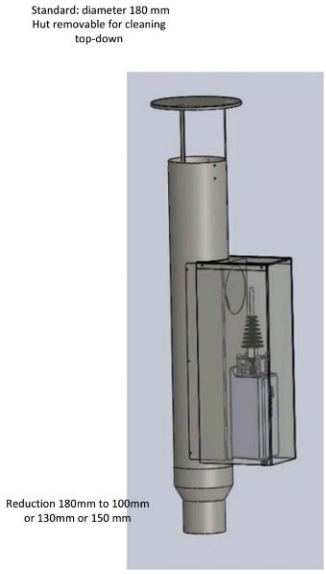

Abbildung 3: OekoTube

In der folgenden Abbildung 4 wurden die Standorte der installierten Filter dargestellt.

Abbildung 4: Standorte der installierten Filter (1 VIP OekoTube ist etwas südlicher installiert)

Funktion des elektrostatischen Filters OekoTube

Der Filter wird am Ende des Kamins installiert und arbeiten nach dem elektrostatischen Prinzip[3]. Feinstaubpartikel strömen mit den Abgasen durch das Kamin. Durch eine in der Mitte des Kamins angebrachte Hochspannungselektrode werden Elektronen freigesetzt, die sich durch elektrostatische Kräfte zur Kaminwand bewegen. Dabei werden die Feinstaubpartikel geladen und ebenfalls zur Wand bewegt. Der Feinstaub sammelt sich an der Kaminwand an und verklumpt zu groben Flocken. Diese Ablagerungen werden mit der mechanischen Reinigung einfach entfernt.

3 https://oekosolve.com/de-ch/produkte/feinstaubfilter-fuer-wohnzimmerfeuerungen/feinstaubfilter-oekotube/

Betrieb und Kontrolle

Basierend auf Pflichtenheften vom REPIC-Projekt und zusätzlich von CIEP hat Juan Antonio Bijit seit März 2020 die Anlagen zehn Mal besucht und in ausführlichen Reports dokumentiert. Nach dem REPIC-Projekt waren sieben Besuche im Jahre 2020 in einem einmonatigen Rhythmus vorgesehen. Wegen den Einschränkungen durch Covid-19 war dies in dieser Periode aber nicht möglich. Zudem wurden von CIEP 10 Besuche vorgegeben, die dann bis März 2022 dauerten.

5.2 Zielerreichung und Resultate

Die Projektziele wurden erreicht und bei einer erfolgreichen Multiplikation würden massive Verbesserungen der Luftqualität erzielt (siehe auch 6.2).

Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität bei Nutzung von erneuerbarer Energie

Mit den eingesetzten elektrostatischen Filtern konnten aufgezeigt werden, dass damit etwa 70% des Feinstaubes zurückgehalten werden kann. Bei richtiger Anwendung sind die Filter eine Variante, wie die vor allem bei der armen Bevölkerung verbreitet eingesetzten Holzheizherde umweltfreundlich weiter genutzt und damit der vermehrte Einsatz von fossilen Brennstoffen vermieden werden kann.

<u>Feinstaubmessungen</u>

Am 4./5. Februar 2020 führte Prof. Roberto Santander der Universidad de Santiago Feinstaubmessungen in sechs Anlagen (4 OekoTube und 2 MPzero) durch. Die Messungen zeigten einen durchschnittlichen Wirkungsgrad der Filter von 70%.[4]
Diese Messungen stimmen gut mit von verschiedenen Instituten in der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Neuseeland und Österreich durchgeführten Messungen überein [5].
Es war geplant, dass im Mai 2020 eine zweite Messserie durchzuführen. Da CIEP aber ein eigenes Messgerät anschaffte und im Labor und im Felde Messungen durchführen will, wurde darauf verzichtet.

4 http://bijitproyectos.cl/nombre-del-proyecto-5/

5 Effiziente Feinstaubreduktion durch Einsatz von Elektrofiltern für Biomasse-Kleinfeuerungen, Feldtest, Begleitforschung und Bewertung, BIOS Bioenergiesysteme GmbH, Graz (2016) https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/12545487/19222537/

<u>Elektroverbrauch</u>

Der Elektroverbrauch der Filter war bei den Nutzern sofort ein Thema. So hat sich herumgesprochen, dass die MPzero-Anlagen einen hohen Stromverbrauch haben und in der Folge zogen einzelne Besitzer die Zusage einer Installation in ihrer Anlage zurück.

Bei der Entwicklung des OekoTube wurde ein möglichst tiefer Stromverbrauch angestrebt, so wird dieser bei Nichtbetrieb automatisch ausgeschaltet.

Zum Nachweis des Stromverbrauchs wurden 10 Elektromessungen nach Chile geliefert und bei den beiden Filtertypen eingebaut.

Diese Messungen zeigten folgende Resultate:

Leistungsmessung:	OekoTube	30 Watt	(nur bei Heizbetrieb)
	MPzero	100 Watt	(im Dauerbetrieb)
Energieverbrauch:	OekoTube	1.0 – 2.9 kWh/Monat Der Stromverbrauch von OekoTube ist für die Nutzer kein Problem	
	MPzero	Keiner der fünf installierten Filter wird im Dauerbetrieb genutzt, d.h. die Eigentümer schalten den Filter nur periodisch ein. Da kein Dauerbetrieb besteht, liegen keine Messwerte vor. Wäre der Filter den ganzen Monat eingeschaltet, würde das System ca. 70 kWh verbrauchen.	

Betriebserfahrungen der elektrostatischen Filter bei den lokalen Verhältnissen

Grundsätzlich sind die Erfahrungen mit den installierten OekoTube-Filtern gut. Technisch haben sich diese bestens bewährt. Kein Filter ist wegen technischen Problemen ausgefallen. Betrieblich sind aber einige Probleme aufgetreten, die durch den Pilotbetrieb erkannt wurden. Bei etwa einem Drittel der Anlagen traten keine Probleme auf und die Nutzer sind zufrieden und in der Lage, die Filter monatlich zu reinigen. Bei anderen Filtern zeigten sich Probleme, deren Ursache im Wesentlichen beim unsachgemässen Feuern oder der Vernachlässigung der Reinigung liegen. Bei der weiteren Umsetzung sind einige Punkte dringend zu beachten.

Bei den MPzero-Filtern hat sich gezeigt, dass das Prinzip funktioniert, aber noch einige Entwicklung erforderlich ist. Neben dem hohen Stromverbrauch, traten durch den Hochspannungsteil verursachte Störungen bei Fernsehgeräten auf und die Standzeiten der Anlageteilen sind mit etwa drei Jahren (Angabe des Produzenten) noch ungenügend. Da das Gerät direkt über dem Ofen eingebaut ist, besteht zudem ein erhöhtes Risiko hinsichtlich Brandgefahr.

Abbildung 5: Stark verschmutztes Kamin

Abbildung 6: Kamin mit Teerbildung

Die meisten Besitzer sind in der Lage, die Filter etwa monatlich zu reinigen. Bei 16 Anlagen wurden die Kamine aber ungenügend gereinigt. Die Einschränkungen wegen Covid-19 wirkten sich zudem negativ aus, da bei älteren Menschen die Jungen nicht zum Reinigen vorbeigehen konnten. Dies führte dazu, dass einzelne Filter demontiert werden mussten.

Teer kann sich bilden, wenn sich die Abgase mit hohen Feinstaubanteilen im Kamin stark abkühlen und die Feuchtigkeit an den «kalten» Kaminwänden kondensiert. Dies geschieht vor allem, wenn dem Feuer zu wenig Luft zugeführt wird. Mit dem Einsatz des Elektrofilters verstärkt sich dieser Effekt deutlich, indem diese giftigen Teere im Filter zurückgehalten und nicht an die Atmosphäre abgegeben werden. Bei 12 Anlagen ist dieses Phänomen aufgetreten. Wie die Mehrzahl der Anlagen zeigen, kann dieses Problem mit genügend hohen Abgastemperaturen vermieden werden.

Bei stark durch Feinstaub oder Teer verschmutzten Filtern kann es zu Bränden kommen, wenn sich das abgelagerte Material durch Funken vom Feuer entzündet. Durch die Konstruktion hält sich der Schaden bei einem Brand für den OekoTube in Grenzen. Bei den am Ende der Kamine installierten Filtern ist zudem das Risiko eines Gebäudebrandes bedeutend kleiner als bei einem Filter über dem Ofen. Trotzdem muss alles darangesetzt werden, um Filterbrände zu vermeiden.

Mit dem weiteren Einsatz der Filter müssen die Hauseigentümer noch besser über das richtige Feuern – zum Vermeiden von Teer und übermässiger Staubentwicklung – und die periodische Reinigung informiert werden.

Wie Abbildung 7 zeigt, können nicht über Dach geführte Kamine zu schwarzen Fassaden führen. Dieser Effekt tritt speziell bei metallischen Fassaden auf, wo sich die elektrostatisch geladenen Staubpartikel ablagern können (was eigentlich die Wirksamkeit des Systems noch verbessert). Drei Anlagen wurden aus diesem Grunde demontiert und die Fassade gereinigt.

Abbildung 7: Schwarze Fassaden

Um die Wahrscheinlichkeit eines Filterbrandes bei den nach Abschluss des Projektes verbleibenden Anlagen möglichst klein zu halten, hat das Projektteam jedes System beurteilt und kritische Filter demontiert.

5.3 Vorbereitung der Multiplikation / Replikation

<u>Erste Massnahmen</u>
Teerbildung und Filterbrände müssen zwingend vermieden werden. Aus diesem Grunde wurde folgende Sofortmassnahmen eingeleitet und das entsprechende Material nach Chile gesendet:

- Thermometer zum Überwachen der Abgastemperatur: Mit diesem mit einem Magneten ans Rauchrohr fixierten Thermometer müssen die die Nutzer die Zuluft entsprechend steuern. Damit können die Teerbildung verhindert und die Feinstaubemissionen reduziert werden.

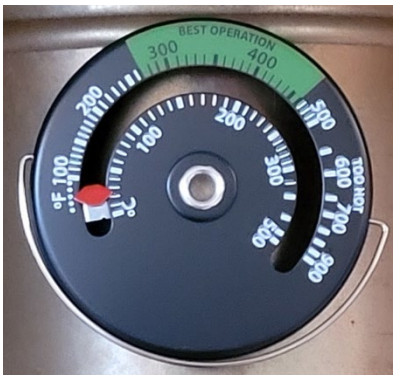

Abbildung 8: Überwachungsthermometer

- Überwachung der Filter:
  Die eingesetzten, von der Strasse sichtbaren LED-Leuchten zur Überwachung des Betriebes der Filter haben sich nicht bewährt. Infolge den verschiedenen Lockdowns wegen Covid-19 war es nicht möglich die regelmässigen Kontrollen durchzuführen. Auch konnte mit diesen der Betrieb zu wenig genau überprüft werden. So ist damit z.B. die Bildung von Teer nicht erkennbar.

  OekoSolve hat ein Überwachungstool entwickelt, mit dem der Betrieb des Filters (Abgastemperatur, Stromspannung (V) und -stärke (A)) dauernd überwacht werden kann. Bei vier Anlagen wurden die Filter mit diesem System nachgerüstet (2 Anlagen mit Teerbildung und 2 Anlagen ohne Probleme). Etwa die Hälfte der Gebäude verfügen heute bereits über ein WiFi.

Kostenoptimierung – Produktion in Chile
Mit folgenden Kostenoptimierungen soll ein gutes Produkt zur Multiplikation zur Verfügung stehen:

- Teilproduktion in Chile: Die Metallteile werden in Chile hergestellt. Die Produktion von diesen ist in Chile günstiger als in der Schweiz und die Transportkosten dieser voluminösen Teile entfallen.
- Der elektronische Teil des Filters wird weiterhin von der Schweiz geliefert. Die Kosten von diesen sind mit Teilproduktionen in Asien bereits optimiert.
- Serienproduktion: Mit grösseren Serien können die Kosten weiter optimiert werden.

In Chile scheint eine Firma gefunden zu sein, welche die nötigen Metallteile in der gewünschten Qualität produzieren kann. Als nächstes sollen Probestücke in Auftrag gegeben, mit dem Filter vor Ort zusammengebaut und eingesetzt werden.

5.4 Wirkung / Nachhaltigkeit

Bei den mit elektrostatischen Filtern ausgerüsteten Anlagen konnten die erwarteten Reduktionen der Feinstaubemissionen erreicht und demonstriert werden. Die entsprechenden Messresultate sind oben beschrieben.
In der folgenden Tabelle sind die von REPIC standardisierten sozioökonomischen Daten aufgeführt.

Ökologisch	**Einheit**	**Bei Abschluss REPIC Projekt**
Installierte Leistung erneuerbar	[kW]	350
Produzierte erneuerbare Energie	[kWh]/a	650’000
Eingesparte fossile Energie	[kWh]/a	(650'000) [5]
Reduktion Treibhausgas	[t CO2-eq] /a	(170) [5]
Abfall neu gesammelt & getrennt	[t]	
Abfall neu rezykliert	[t]	
Ökonomisch		
Energiekosten (LCOE)	[Rp/kWh]	4
Ausgelöste Drittmittel/Investitionen	[CHF]	ca. 200’000 [6]
Generierte lokale private Einkommen	[CHF]	ca. 200'000 [6]
Sozial		
Anzahl Nutzniesser	[Zahl]	ca. 50
Anzahl neue Arbeitsplätze	[Zahl]	3 Teilzeit
Anzahl ausgebildete Personen	[Zahl]	3

5 Wert durch Verhinderung der Umstellung auf fossile Energieträger

6 Inkl. Begleitstudien CIEP

Weitere Indikatoren		
Reduktion Feinstaubbelastung	[kg/a]	400

Tabelle 1: sozioökonomischen Daten

6. Ausblick / weiteres Vorgehen

6.1 Multiplikation / Replikation

Im Multiplikationskonzept schlagen wir den lokalen Akteuren das weitere Vorgehen in Phasen vor, damit die erkannten Probleme vor einer grossen Multiplikation behoben werden können. In ersten Gesprächen mit den zuständigen Regionalsekretären «Medio Ambiente», «Energia» und «Vivienda y Urbanismo» sowie dem Stadtpräsidenten von Coyhaique haben wir diese

Konzeptideen vorgestellt. Vor dem Vorliegen der Studienresultate des «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» werden diese zentralen Akteure aber keine Entscheide bezüglich Finanzierung der Filter fällen. Wir fordern die Verantwortlichen mit dem Zusenden des definitiven Multiplikationskonzeptes auf, die in Phase 1 vorgeschlagene Informationskampagne anzugehen und damit die bisherigen Aktivitäten zu verstärken.

Phase 1 (August bis Dezember 2022)

In einer nächsten Phase soll mit einer Informationskampagne das schadstoffarme Heizen zusätzlich gefördert, der weitere Einsatz von Filtern mit Schulungen vorbereitet und die Weiterentwicklung des Filters angegangen werden.

Mit einer wirksamen Informationskampagne und Schulungen kann bereits eine erhebliche Reduktion der Feinstaubbelastung erreicht werden. Wir gehen davon aus, dass damit teilweise eine Reduktion von gegen 50% möglich ist.

Den lokalen Akteuren schlagen wir folgendes parallele Vorgehen der Beteiligten vor:

Stadt- und Regionalregierung **Information «Schadstoffarmes Heizen»**	Projektteam **Weiterentwicklung Filter**
1. Kampagne in Medien 2. Video auf Internet abrufbar 3. Schulungen in Quartieren mit hohen Luftschadstoffbelastungen	1. Ursachen Teerbildung detailliert klären 2. Chilenische Produktion austesten 3. Weitere Erfahrungen mit installierten Filtern sammeln

Tabelle 2: Massnahmen Phase 1

Das Projektteam ist bereit, bis Ende Jahr auf eigene Kosten den Filter auf die lokalen Verhältnisse abgestimmt weiterzuentwickeln.

Phase 2 (ab Januar 2023)

Zum Auslösen dieser Phase müssen die entsprechenden Entscheide bezüglich Finanzierung von den zuständigen Regierungsstellen vorliegen.

In einem nächsten Schritt sollen 100-200 Anlagen mit Elektrofiltern ausgerüstet sowie ein Jahr betrieben und überwacht werden. Auf allfällige Mängel kann damit in der weiteren Umsetzung reagiert werden.

Phase 3

Bei einem erfolgreichen Abschluss der Phase 2 wird das Projekt auf 1000 Filter ausgedehnt, die in Coyhaique und anderen Städten Patagoniens eingesetzt werden können.

Wie der Tabelle 3 entnommen werden kann, ist der Einsatz der Elektrofilter im Vergleich zu den geförderten Massnahmen des Programms «Recambio de calefactores» finanziell interessant. (Preisestand Januar 2022)

		1 Holzheizherd Elektrofilter	2 Holzpelletheizung Gasküche	3 Petroleumheizung Gasküche
Investition	CLP	1'471'406	1'709'980	1'389'980
	CHF/a	1'839.--	2'137.--	1'737.–
Betrieb/Unterhalt	CLP/a	576'700	1'147'300	1'222'000
	CHF/a	721.–	1'434.--	1'528.–

Tabelle 3: Variantenvergleich Kosten der Heiz- und Kochsysteme

Hürden für eine erfolgreiche Multiplikation / Replikation

Wie die bisherigen Erfahrungen gezeigt haben, muss noch mit einigen Hindernissen gerechnet werden.

- Die bisherige Zusammenarbeit mit dem «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» hat uns hinsichtlich einer gemeinsame Lösungsfindung verunsichert. Wann und welche Studienresultate vorliegen werden, ist unsicher.
- Mit den neugewählten Behördenmitgliedern muss eine neue Basis geschaffen werden. So ist eine erneute Überzeugungsarbeit erforderlich. Teilweise kommen wieder Projektideen mit günstigeren Keramik- oder CO-Filtern, die bereits bei der vorherigen Regierungsmannschaft widerlegt werden mussten.
- Ohne die Finanzierung der Filter über staatliche Programme kann keine Multiplikation umgesetzt werden.
  Wie die Erfahrung zum Beispiel in Deutschland gezeigt haben, werden Filter nicht freiwillig gekauft, da der Käufer nicht direkt einen Nutzen hat. Erst mit entsprechenden Umweltvorschriften und finanziellen Beiträgen beim Erreichen von speziell tiefen Feinstaubwerten hat sich für Oeko Solve AG ein bedeutender Markt eröffnet.
  Da in Chile vor allem die arme Bevölkerung mit Holz heizt und kocht, wären strenge Umweltvorschriften zudem kaum durchsetzbar.
- Die vorgeschlagene Informationskampagne und die Schulung der Bevölkerung müssen von den Behörden ernsthaft angegangen und umgesetzt werden.

6.2 Erwartete Wirkung / Nachhaltigkeit

<u>CO2-Relevanz und Umweltaspekte</u>

Mit dem Einsatz der elektrostatischen Filter kann ein weiterer Umstieg auf fossile Brennstoffe vermieden werden.

Wie bereits im Antrag für das REPIC-Projekt aufgeführt wurde, besteht ein bedeutendes Potential für den Einsatz von elektrostatischen Filtern. Alleine in Coyhaique werden die 5'000-7’000 Holzkochherde und ca. 15'000 Holzöfen genutzt.

Würde alle Holzheizherde mit Filtern ausgerüstet und die Bevölkerung mit einer umfassenden Kampagne zu «schadstoffarmen Heizen» angehalten, könnte die Feinstaubbelastung der Holzheizherde in Coyhaique um etwa 80 % reduziert werden. Weitere bedeutende Einsatzpotentiale bieten sich in den weiteren Städten in Patagogien.

<u>Sozio-ökonomische und kulturelle Aspekte</u>

Holzheizherde und Kaminöfen gehören zur kulturellen Identität von Patagonien. Zudem ist es die günstigste Möglichkeit zum Heizen und Kochen – daher bei der armen Bevölkerung weit verbreitet. Mit dem richtigen Einsatz von Feinstaubfiltern kann die arme Bevölkerung somit ohne finanziellen Aufwand einen Beitrag für bessere Luft leisten.

Mit dem vorgesehen Multiplikationskonzept verbleibt die Wertschöpfung mehrheitlich in Chile. Die Metallteile der Filter werden im Land gefertigt, den Vertrieb und die Montage übernimmt unser lokaler Partner Bijit Proyectos SpA. Damit werden neben der zu erreichenden Verbesserung der Luft- und Lebensqualität Arbeitsplätze geschaffen:

- Produktion, Installation > 10 Mannjahre
- Unterhalt > 2 Personen über Jahre

7. Lessons Learned / Fazit

Technisch haben sich die OekoTube-Filter auch im sehr schwierigen Umfeld von Patagonien bestens bewährt. Kein Filter ist wegen technischen Problemen ausgefallen. Betrieblich sind aber einige Probleme aufgetreten, die durch den Pilotbetrieb erkannt wurden.

Im Projektablauf musste das Projektteam sehr flexibel sein und sich auf wechselnde Situationen einstellen.

- Auch schriftliche Finanzierungszusicherungen sind nicht immer verbindlich:
  Da die Stadt Coyhaique eine beschränkte Finanzierungskompetenz hat und keine direkten Steuern erheben kann, war die für die Projekteingabe abgegebene Finanzierungszusicherung nichts wert. Der Beitrag wurde von oben – offenbar aus politischen Gründen – aus dem Budget gestrichen.

- Mehr Beteiligte können ein Projekt massiv erschweren:
  Als Massnahme gegen die Korruption hat die Regionalregierung den Projektkredit über das «Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)» ausbezahlt. Damit verbunden war eine bedeutende Aufstockung des Kredits für begleitende Studien. Die Zusammenarbeit gestaltete sich von Beginn weg schwierig. Die Abhängigkeit der weiteren Projektentscheide von den Resultaten der verschiedenen Studien von CIEP ist ein weiteres Problem und führt zu Verzögerungen der weiteren Umsetzung.

- Wahlen können eine massive Projektverzögerung bringen:
  Erste Projektverzögerungen ergaben sich durch die Finanzierungsprobleme der chilenischen Partner und dem Auftreten von Covid-19. Danach standen Wahlen auf regionaler und kommunaler Ebene an. Dies führte zum Wechsel von verschiedenen Projektbeteiligten. Danach standen die nationalen Wahlen vor der Tür und es war absehbar, dass auch diese Projektpartner wechseln. Somit standen während einem halben Jahr keine finanzkompetenten Partner zum Besprechen der Multiplikation zur Verfügung.

- Europäische Betriebserfahrungen sind teilweise nicht übertragbar:
  Probleme wie die starke Bildung von Teer oder extreme Verschmutzungen infolge mangelnder Reinigung der Kamine kannte OekoSolve AG bisher nicht. Wenn diese vereinzelt aufgetreten sind, konnten diese durch den Beizug von kompetenten Kaminfegern behoben werden.
  Die gemachten Betriebserfahrungen sind aber wertvoll und können den Verantwortlichen in den Städten in Patagonien zeigen, das bereits mit wirksamen Informationskampagnen zum «umweltfreundlichen Feuern» die Luftqualität wirksam verbessert werden kann.

8. Referenzen

1 “Impacto de la contaminación del aire por MP10 en la morbi-mortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos canceres en la población de Coyhaique 2009-2014, Marco Andres Acuña Briones, Univesidad de Chile (2015).

4 Evaluación del Desempeño Ambiental de Electro Filtros en Cocinas a Leña – Coyhaique, Dr. Ing. Roberto Santander Moya, Univesidad de Santiago (2020).

5 Effiziente Feinstaubreduktion durch Einsatz von Elektrofiltern für Biomasse-Kleinfeuerungen, Feldtest, Begleitforschung und Bewertung, BIOS Bioenergiesysteme GmbH, Graz (2016)

9 Anhang

- *Projektvideo Español/Deutsch/English* *https://www.youtube.com/user/OekoSolve/videos*
- Multiplikationskonzept / Concepto de masificación, Projektteam (07.09.2022)
- Presse
  - El Divisadero, 20.10.20 «Filtros de material particulado…" *https://www.sustentable.cl/filtros-de-material-particulado-en-cocinas-a-lena-asoman-como-posible-solucion-para-la-mala-calidad-del-aire-de-coyhaique/*
  - Handelszeitung Nr. 32, 11.8.22 «Grüner internationaler Austausch» (Seite 33) *https://sges.ch/wp-content/uploads/Handelszeitung-11.08.2022.pdf*
  - Radio las Nieves https://www.rln.cl/regional/83219-estudian-disminucion-de-la-contaminacion-en-coyhaique-a-traves-de-filtros-en-cocinas-a-lena?amp=1
  - Santa Maria TV *https://zh-cn.facebook.com/SantaMariaTV/videos/proponen-filtros-en-cocinas-a-leña-para-disminuir-polución-del-aire/213558910504059/*