

---

# VOBU-Studie zu EPS-Dämmstoffen

## Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung

**Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)**

---

**Ort**                      Zürich

**Datum**                17.06.2025

---

## Impressum

### Auftraggebende

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Ökonomie und Innovation, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

### Auftragnehmende

realcycle GmbH  
Hagenholzstrasse 85A  
8050 Zürich  
+41 44 537 82 80  
hello@realcycle.ch  
realcycle.ch  
 realcyclegmbh

BSS Volkswirtschaftliche Beratung AG  
Aeschengraben 9  
4051 Basel  
+ 41 61 262 05 55  
contact@bss-basel.ch  
bss-basel.ch  
 bss-volkswirtschaftliche-beratung

### Autorschaft

Dr. Maja Wiprächtiger  
maja.wipraechtiger@realcycle.ch, 044 537 82 81

Madleina Sandberg  
madleina.sandberg@realcycle.ch, 044 537 82 85

Dr. Melanie Haupt  
melanie.haupt@realcycle.ch, 044 537 82 80

Niclas Meyer, Ph.D.  
niclas.meyer@bss-basel.ch, 061 262 05 28

Fabiana Kappeler  
Fabiana.kappeler@bss-basel.ch, 061 262 05 54

---

**Begleitgruppe BAFU** Niklas Nierhoff  
Philipp Röser  
David Hiltbrunner  
Andreas Buser

**Hinweis** Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein die Auftragnehmerin verantwortlich.

## Inhalt

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Zusammenfassung auf Deutsch.....                                                                   | 7  |
| Ausgangslage und Ziel .....                                                                        | 7  |
| Methodisches Vorgehen .....                                                                        | 7  |
| Ergebnisse der Wirkungsanalyse .....                                                               | 8  |
| Schlussfolgerungen .....                                                                           | 9  |
| Résumé en français.....                                                                            | 11 |
| Situation initiale et objectif.....                                                                | 11 |
| Approche méthodologique .....                                                                      | 11 |
| Résultats de l'analyse d'impact.....                                                               | 12 |
| Conclusions .....                                                                                  | 13 |
| Sintesi in italiano .....                                                                          | 15 |
| Situazione iniziale e obiettivo.....                                                               | 15 |
| Metodologia .....                                                                                  | 15 |
| Risultati dell'analisi d'impatto .....                                                             | 16 |
| Conclusioni .....                                                                                  | 17 |
| Summary in English .....                                                                           | 19 |
| Background and Objective .....                                                                     | 19 |
| Methodological Approach .....                                                                      | 19 |
| Results of the Impact Analysis .....                                                               | 20 |
| Conclusions .....                                                                                  | 21 |
| 1.    Einleitung .....                                                                             | 22 |
| 1.1.    Beschreibung des Auftrages.....                                                            | 22 |
| 1.2.    Ausgangslage .....                                                                         | 22 |
| 1.3.    Handlungsbedarf .....                                                                      | 22 |
| 1.4.    Ziel der Analyse .....                                                                     | 23 |
| 1.5.    Vorgehen .....                                                                             | 23 |
| 1.5.1.    Prozess.....                                                                             | 23 |
| 1.5.2.    Methoden .....                                                                           | 23 |
| 2.    Untersuchungsgegenstand .....                                                                | 24 |
| 2.1.    Beschreibung der Massnahmen .....                                                          | 24 |
| 2.1.1.    Null-Szenario – weiter wie bisher (M0) .....                                             | 24 |
| 2.1.2.    Untersuchungsszenario – Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen (M1)..... | 24 |
| 2.2.    Grundlagen für die Modellierung der Szenarien .....                                        | 25 |

|          |                                                                       |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.   | Untersuchungszeitraum und räumliche Eingrenzung .....                 | 25 |
| 2.2.2.   | Nationales Umfeld, andere Politiken.....                              | 25 |
| 2.2.3.   | Regulierung von HBCDD .....                                           | 26 |
| 2.2.4.   | Notwendige Prozessschritte und deren technologische Entwicklung ..... | 27 |
| 2.3.     | Internationales Umfeld .....                                          | 29 |
| 2.4.     | Alternative Instrumente .....                                         | 30 |
| 3.       | Relevanzanalyse.....                                                  | 33 |
| 4.       | Auswirkungen der Massnahmen.....                                      | 35 |
| 4.1.     | Darstellung des Vollzugs .....                                        | 35 |
| 4.1.1.   | Verankerung in der Gesetzgebung .....                                 | 35 |
| 4.1.2.   | Zuständige Akteure Vollzug .....                                      | 36 |
| 4.1.3.   | Kontrollen durch die Behörden.....                                    | 36 |
| 4.1.4.   | Wirkungsmodell.....                                                   | 36 |
| 4.2.     | Auswirkungen auf Unternehmen (für M0 und M1) .....                    | 37 |
| 4.2.1.   | M0: Auswirkungen auf die Unternehmen (W1).....                        | 37 |
| 4.2.2.   | M1 - Auswirkungen auf die Unternehmen (W1).....                       | 40 |
| 4.3.     | Auswirkungen auf das Klima (U1) .....                                 | 43 |
| 4.3.1.   | Null-Szenario (M0):.....                                              | 43 |
| 4.3.2.   | Untersuchungsszenario (M1).....                                       | 44 |
| 4.4.     | Sonstige Auswirkungen .....                                           | 46 |
| 4.4.1.   | Null-Szenario: sonstige Auswirkungen .....                            | 46 |
| 4.4.2.   | Untersuchungsszenario: sonstige Auswirkungen.....                     | 47 |
| 5.       | Synthese / Folgerungen .....                                          | 49 |
| 5.1.     | Bilanz der Wirkungen .....                                            | 49 |
| 5.1.1.   | Auswirkungen auf die Unternehmen .....                                | 49 |
| 5.1.2.   | Auswirkungen auf das Klima .....                                      | 50 |
| 5.1.2.1. | Sonstige Auswirkungen .....                                           | 51 |
| 5.1.3.   | Bilanz.....                                                           | 51 |
| 5.2.     | Effektivität, Effizienz und Verteilungswirkungen.....                 | 52 |
| 5.2.1.   | Effektivität.....                                                     | 52 |
| 5.2.2.   | Effizienz.....                                                        | 52 |
| 5.2.3.   | Verteilungswirkungen.....                                             | 53 |
| 5.3.     | Würdigung der Ergebnisse .....                                        | 53 |
| 5.3.1.   | SDGs.....                                                             | 54 |
| 5.3.2.   | RFA Prüfpunkte.....                                                   | 54 |
| 5.4.     | Empfehlungen und Optimierungsmöglichkeiten .....                      | 55 |

|         |                                                                               |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.1.  | Empfehlungen .....                                                            | 55 |
| 5.4.2.  | Optimierungsmöglichkeiten .....                                               | 57 |
| 5.5.    | Grenzen der vorliegenden VOB, Vertiefungsbedarf .....                         | 57 |
| 5.5.1.  | Grenzen .....                                                                 | 57 |
| 5.5.2.  | Vertiefungsbedarf .....                                                       | 58 |
|         | Literaturverzeichnis .....                                                    | 61 |
|         | Abkürzungsverzeichnis / Glossar .....                                         | 62 |
|         | Anhang.....                                                                   | 63 |
| A.1     | Ökologische Wirkungsanalyse .....                                             | 63 |
| A.1.1   | Annahmen zur Modellierung der Materialflüsse .....                            | 63 |
| A.1.1.1 | System.....                                                                   | 63 |
| A.1.1.2 | Modellierung der Szenarien.....                                               | 63 |
| A.1.1.3 | Mengengerüst.....                                                             | 64 |
| A.1.2   | Resultate Materialflussanalysen .....                                         | 64 |
| A.1.3   | Ökologische Bewertung .....                                                   | 69 |
| A.1.4   | Resultate für Methode der ökologischen Knappheit .....                        | 70 |
| A.2     | Szenarioannahmen für die Kostenschätzung .....                                | 71 |
| A.2.1   | Kosten Primärmaterial .....                                                   | 71 |
| A.2.2   | Kosten Rückbau .....                                                          | 71 |
| A.2.3   | Kosten Sortierung .....                                                       | 72 |
| A.2.4   | Kosten Aufbereitung.....                                                      | 72 |
| A.2.5   | Kosten Recycling.....                                                         | 72 |
| A.2.6   | Kosten Annahmen Anteil Rückbaumethoden .....                                  | 73 |
| A.3     | Schätzung: Wie viele Unternehmen wären betroffen? .....                       | 74 |
| A.3.1   | BFS-Eigentümerstatistik (Wohngebäude) .....                                   | 74 |
| A.3.2   | Gebäudeprogramm .....                                                         | 74 |
| A.3.3   | Fazit .....                                                                   | 74 |
| A.4     | Weiterführende Erläuterungen zu Optimierungsmöglichkeiten der Massnahme ..... | 75 |

## Zusammenfassung auf Deutsch

### Ausgangslage und Ziel

Der Bundesrat und das Parlament streben eine Stärkung der Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft in der Schweiz an. Im Rahmen der Gesetzesrevision zur parlamentarischen Initiative (Pa.Iv.) 20.433 wird eine Abfallhierarchie eingeführt, die die Priorisierung von Wiederverwendung und stofflicher Verwertung gegenüber energetischer Verwertung vorsieht. Zudem erhält der Bundesrat die Kompetenz, Anforderungen im Bereich des ressourcenschonenden Bauens zu stellen. Der Bundesrat hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beauftragt, Vorschläge für Massnahmen zu entwickeln.

Innerhalb der Bauindustrie tragen Dämmmaterialien nicht unerheblich zu Treibhausgasemissionen bei. So fallen bei der Produktion und energetischen Verwertung von Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol (EPS) jährlich ca. 130'000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten an. Angesichts des prognostizierten Anstiegs an rückgebauten Dämmstoffen könnte die stoffliche Verwertung einen relevanten Beitrag zur Reduktion dieser Umweltbelastung darstellen. Aktuell müssen EPS-Dämmstoffabfälle energetisch verwertet werden, da das bis 2016 eingesetzte, aber heute verbotene Flammenschutzmittel HBCDD zerstört werden muss. Technologisch ist eine Entfernung des HBCDD im Recyclingprozess bereits heute möglich. In den Niederlanden besteht eine Recyclinganlage und in der Schweiz wird aktuell ein alternatives Verfahren entwickelt. Es zeigt sich jedoch, dass die Wirtschaftlichkeit noch zu wenig gegeben ist, um EPS-Recycling flächendeckend durchzuführen.

Dies kommt unter anderem davon, dass die externen Umweltkosten der Produktion und Entsorgung von EPS-Dämmstoffen nicht eingepreist sind. Die neue Umweltschutzgesetzgebung schafft zwar eine Verwertungshierarchie, bietet jedoch keinen direkten Anreiz für das Recycling von Dämmstoffen.

Ziel der vorliegenden Analyse ist es, die Auswirkungen einer Verordnungsbestimmung zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen abzuschätzen. Die untersuchte Vorgabe ist in Anlehnung an Art. 20 VVEA (Abfallverordnung) betreffend Betonabbruch ausgestaltet: EPS-Dämmstoffe müssten möglichst vollständig verwertet werden. Es bestünde somit keine absolute Pflicht, EPS-Dämmstoffe stofflich zu verwerten und die Verbrennung bliebe grundsätzlich weiterhin möglich (bei Beton ist die Ablagerung auch weiterhin möglich, trotz der «Verwertungspflicht»).

### Methodisches Vorgehen

Für die Analyse der Auswirkungen einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen wurden zwei Szenarien betrachtet:

Das **Null-Szenario** stellt dabei den Referenzpunkt dar. Es gilt das revidierte Umweltschutzgesetz mit einer Abfallhierarchie, jedoch ohne spezifische Vorgaben zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen.

Das **Untersuchungsszenario** stellt demgegenüber ein spezifisches Szenario, in welchem eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen, analog zur Verwertung von Betonabbruch, in die VVEA aufgenommen wird.

Anhand von Interviews mit Branchenvertreter:innen wurden relevante Entwicklungen, Herausforderungen und notwendige Daten zusammengetragen. Darauf aufbauend wurden zukünftige Materialflüsse der EPS-Dämmstoffplatten modelliert. Der Untersuchungszeitraum beginnt nach einer fünfjährigen Übergangsfrist im Jahr 2032 und berücksichtigt die unterschiedlichen Auswirkungen über kurze (2032), mittlere (2040) und lange Zeithorizonte (2055). Basierend auf den Materialflüssen und zusätzlichen Annahmen wurden die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen quantitativ bestimmt. Weitere zentrale Aspekte wurden qualitativ untersucht.

## Ergebnisse der Wirkungsanalyse

Die Analyse hat gezeigt, dass ab 2040 die Gesamtkosten im Untersuchungsszenario voraussichtlich niedriger sein werden als im Null-Szenario und die Treibhausgasemissionen im Schnitt um die Hälfte reduziert werden.

Grundsätzlich führt die rechtliche Vorgabe im Untersuchungsszenario zu höheren Kosten für Sortierung, Aufbereitung und Recycling des Dämmmaterials. Der Rückbau wird nur übergangsweise zu Mehrkosten führen, da grundsätzlich von einer Anpassung der Rückbauweise, um den Eintrag von EPS in die Umwelt zu verhindern, ausgegangen wurde. Branchenvertreter:innen gehen jedoch davon aus, dass die anfallenden Kosten für die stoffliche Verwertung im Vergleich zu den Gesamtkosten des Bauprojektes (inkl. Neubau) gering bis vernachlässigbar sind. Über alles betrachtet, können die Kosten der Sortierung, Aufbereitung und des Recyclings teilweise durch die Substitution von Primärmaterial kompensiert werden. Gekoppelt mit den angenommenen Effizienzsteigerungen und den dadurch resultierenden reduzierten Kosten im Rückbau, führt die Massnahme zu geringeren Gesamtkosten. Recycling-, Sortier- und Rückbauunternehmen könnten von einem höheren Umsatz profitieren. Recycler profitieren zudem von erhöhter Unabhängigkeit von Rohstoffpreisen und -lieferanten.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Vorgabe eine positive Auswirkung auf das Klima hat. Mit der erhöhten Recycling-Quote steht mehr sekundäres Polystyrol für die EPS-Dämmstoffproduktion zur Verfügung. Dies resultiert in einer Reduktion der Treibhausgasemissionen, die ansonsten durch die Produktion von primärem Polystyrol entstehen. Ebenso reduzieren sich bei erhöhter stofflicher Verwertung die Mengen an verbrannten EPS-Dämmstoffen und entsprechend die Treibhausgasemissionen. Das Null-Szenario geht zwar ebenfalls von einer Zunahme des Recyclings aus, jedoch erst ab dem Jahr 2055 in relevantem Ausmass. Die untersuchte Massnahme ermöglicht hingegen bereits ab dem Jahr 2040 eine signifikante Reduktion der Treibhausgase, da zu diesem Zeitpunkt der Grossteil des HBCDD-belasteten EPS zurückgeführt wird. Die jährlichen Einsparungen werden im Durchschnitt auf 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2032, 80'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2040 und wieder 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2055 geschätzt. Die geringeren Einsparungen im Jahr 2055 sind auf die Anwendung der Carbon Capture and Storage (CCS) Technologie bei der energetischen Verwertung zurückzuführen, welche ab 2050 für die Erreichung einer ausgeglichenen Treibhausgasbilanz flächendeckend im Einsatz sein muss.

Nebst Auswirkungen auf Klima und Unternehmen wurden die Auswirkungen auf weitere Aspekte wie Gesamtwirtschaft, natürliche Produktionsfaktoren sowie Forschung und Innovation untersucht. Die Wirkungsanalyse hat gezeigt, dass im Untersuchungsszenario im Vergleich zum Null-Szenario deutlich grössere Anreize für Innovationen bestehen, insbesondere in den Bereichen Rückbau, Sortierung und Recycling von EPS-Dämmstoffen. Es wird erwartet, dass klare Vorgaben die Investitionen erleichtern und Unternehmen dazu anregen, eigene Lösungen zu entwickeln. Da die optimale Rückbaumethode von den spezifischen Baustellenbedingungen

abhängt, ist mit einer Vielzahl unterschiedlicher Technologien zu rechnen, was Raum für Forschung und Entwicklung lässt.

Insgesamt profitieren voraussichtlich die Schweizer Hersteller von EPS am deutlichsten. Es besteht jedoch auch das Potenzial, dass bei einer Verwertungsvorgabe ausländische Unternehmen in den Recyclingmarkt eintreten, wodurch Konkurrenz entsteht, was wiederum Innovation fördern kann.

Weiter wird durch die Produktion von Sekundärmaterial die Abhängigkeit von Primärrohstoff-Importen gesenkt, was wiederum zu einer Steigerung der Versorgungssicherheit führt. Durch den erhöhten Einsatz von Sekundärmaterial, respektive der Reduktion der Produktion von Primärmaterial wird auch die Belastung der natürlichen Produktionsfaktoren gesenkt, da beispielsweise weniger Erdöl gefördert werden muss. Der sorgfältige Rückbau führt zudem zu einer Reduktion der Verteilung von HBCDD-haltigen EPS-Kügelchen beim Rückbau und dadurch zu einer geringeren Umweltbelastung.

Seitens der öffentlichen Hand ist mit zusätzlichen Aufgaben und dadurch Aufwand zur Überprüfung der Baubewilligungen und der tatsächlichen Umsetzung von Verwertungsmassnahmen zu rechnen.

Folglich hat die Massnahme einen positiven Effekt auf den grössten Teil der untersuchten Auswirkungskriterien. Insbesondere Umweltaspekte wie das Klima oder die natürlichen Produktionsfaktoren profitieren von einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung. Ebenso profitieren gewisse Unternehmen und die Gesamtwirtschaft; die Massnahme kann zudem Innovation fördern. Mehraufwände sind für Bauherrschaften zu erwarten, da diese den grössten Teil der entstehenden Kosten zu tragen haben werden, sowie auch für die öffentliche Hand.

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen effektiv und effizient ist. Die Treibhausgasemissionen können bis 2040 um 48 % und bis 2055 um 52 % im Vergleich zum Null-Szenario gesenkt werden. Kosten entstehen für Unternehmen – durch Rückbau, Sortierung, Aufbereitung etc. Über die gesamte Wertschöpfungskette gesehen führt die Massnahme mittel- bis langfristig jedoch nicht zu einer Kostenzunahme.

Es bestehen allerdings Unsicherheiten hinsichtlich der Annahme zu den Rückbaukosten sowie der technologischen Entwicklungen in den Bereichen Rückbau, Aufbereitung und Recycling.

Die Kosteneffizienz dieser Massnahme hängt entscheidend davon ab, ob der Rückbau zeitnah auch ohne Massnahme angepasst wird oder ob der Rückbau von EPS für das anschliessende Recycling mit viel Zusatzaufwand verbunden ist. Auch wenn die Kosteneffizienz sich nur langsam verbessern würde, sind die Mehrkosten voraussichtlich vernachlässigbar im Vergleich zu den gesamten Baukosten eines Bauprojektes. Dies sollte somit keine entscheidende Hürde darstellen.

Eine relevante Hürde stellen jedoch aktuelle Verfahren dar. Anlagen und Verfahren für das Recycling sowie Techniken und Verfahren für den sortenreinen Rückbau sowie die Sortierung erfüllen zurzeit nicht die Anforderungen gem. Stand der Technik. Die hier untersuchte Massnahme würde einen Rahmen für Investitionen schaffen und dazu führen, dass die Weiterentwicklung der Technologien und Prozesse schneller erfolgen würde. Damit würden die Anforderungen an den Stand der Technik zeitnaher erfüllt. Bei der Einführung einer Vorgabe, bevor der Stand der Technik besteht, stellen sich jedoch trotz Übergangsfrist Herausforderungen beim Vollzug und eine enge Zusammenarbeit mit der Branche wäre nötig.

Aus diesem Grund und weil eine deutliche Zunahme des Rückbaus von EPS-Dämmstoffen ab etwa 2040 zu erwarten ist, empfehlen wir dem BAFU, in einem ersten Schritt den Dialog mit den betroffenen Wirtschaftsakteuren zu suchen. Dieser Austausch ist einerseits von Bedeutung, um festzulegen, welche Fortschritte in den kommenden Jahren erfolgen sollten und wo zusätzliche Massnahmen erforderlich sind. Andererseits kann so gezielt ermittelt werden, wie der Bund am besten zum Abbau der Hürden beitragen kann. Beispielsweise könnten Investitionsförderungen oder finanzielle Unterstützung für angewandte Forschungsprojekte die notwendigen Entwicklungen beschleunigen. Weiter wird empfohlen, zu prüfen, ob eine Regelung für den sauberen Rückbau von EPS (und potenziell weiterer Materialien) zielführend wäre. In etwa fünf Jahren sollte die Situation erneut analysiert werden, um auf die rechtliche Vorgabe zurückzugreifen, wenn die Bestrebungen aus der Wirtschaft nicht ausreichend sind, um den EPS-Kreislauf ab 2040 sicherzustellen.

## Résumé en français

### Situation initiale et objectif

Le Conseil fédéral et le Parlement souhaitent renforcer les conditions-cadres de l'économie circulaire en Suisse. Dans le cadre de la révision de la loi sur l'initiative parlementaire (Pa.lv.) 20.433, une hiérarchie des déchets est introduite, qui prévoit de donner la priorité à la réutilisation et au recyclage plutôt qu'à la valorisation énergétique. En outre, le Conseil fédéral se voit attribuer la compétence de fixer des exigences en matière de construction économe en ressources. Le Conseil fédéral a chargé l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) d'élaborer des propositions de mesures.

Dans le secteur de la construction, les matériaux d'isolation contribuent de manière non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, la production et la valorisation énergétique des matériaux isolants en polystyrène expansé (PSE) génèrent chaque année environ 130 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>. Compte tenu de l'augmentation prévue des matériaux isolants démolis, le recyclage pourrait contribuer de manière significative à la réduction de cette charge environnementale. Actuellement, les déchets de matériaux isolants en PSE doivent être incinérés, car le retardateur de flamme HBCDD utilisé jusqu'en 2016, mais aujourd'hui interdit, doit être détruit. Techniquement, l'élimination du HBCDD dans le processus de recyclage est déjà possible aujourd'hui. Il existe une installation de recyclage aux Pays-Bas et un procédé alternatif est actuellement développé en Suisse. Il apparaît toutefois que la rentabilité n'est pas encore suffisante pour mettre en place un recyclage du PSE à grande échelle.

Cela s'explique notamment par le fait que les coûts environnementaux externes liés à la production et à l'élimination des matériaux isolants en PSE ne sont pas pris en compte dans les prix. La nouvelle législation sur la protection de l'environnement établit certes une hiérarchie des déchets, mais n'offre aucune incitation directe au recyclage des matériaux isolants.

L'objectif de la présente analyse est d'évaluer les effets d'une disposition réglementaire sur le recyclage des matériaux isolants en PSE. La prescription examinée s'inspire de l'art. 20 OLED (ordonnance sur les déchets) concernant la démolition du béton : les matériaux isolants en PSE devraient être recyclés autant que possible. Il n'y aurait donc pas d'obligation absolue de recycler les matériaux isolants en PSE et leur incinération resterait en principe possible (pour le béton, la mise en décharge reste elle aussi possible malgré l'« obligation de recyclage »).

### Approche méthodologique

Pour analyser les effets d'une disposition relative au recyclage des matériaux isolants en PSE, deux scénarios ont été envisagés :

Le **scénario zéro** constitue le point de référence. La loi révisée sur la protection de l'environnement avec une hiérarchie des déchets s'applique, mais sans prescriptions spécifiques concernant le recyclage des matériaux isolants en PSE.

Le **scénario d'étude**, en revanche, est un scénario spécifique dans lequel une prescription relative au recyclage des matériaux isolants en PSE, analogue à celle applicable aux déchets de démolition de béton, est intégrée dans l'OLED.

Des entretiens avec des représentants du secteur ont permis de recueillir des informations sur les évolutions pertinentes, les défis à relever et les données nécessaires. Sur cette base, les flux de matériaux futurs des panneaux isolants en PSE ont été modélisés. La période d'étude

commence après une phase transitoire de cinq ans en 2032 et tient compte des différents impacts à court (2032), moyen (2040) et long terme (2055). Les impacts écologiques et économiques ont été quantifiés sur la base des flux de matériaux et d'hypothèses supplémentaires. D'autres aspects essentiels ont fait l'objet d'une analyse qualitative.

## Résultats de l'analyse d'impact

L'analyse a montré qu'à partir de 2040, les coûts totaux dans le scénario étudié devraient être inférieurs à ceux du scénario de référence et que les émissions de gaz à effet de serre devraient être réduites de moitié en moyenne.

En principe, les exigences légales du scénario d'étude entraînent des coûts plus élevés pour le tri, le traitement et le recyclage des matériaux isolants. Le démantèlement n'entraînera des coûts supplémentaires que pendant une période transitoire, car on part du principe que les méthodes de démantèlement seront adaptées afin d'éviter le rejet de PSE dans l'environnement. Les représentants du secteur estiment que les coûts liés au recyclage des matériaux sont faibles, voire négligeables, par rapport au coût total du projet de construction (y compris la construction neuve). Dans l'ensemble, les coûts du tri, du traitement et du recyclage peuvent être partiellement compensés par la substitution de matériaux primaires. Combinée aux gains d'efficacité attendus et à la réduction des coûts de démolition qui en résulte, cette mesure entraîne une diminution des coûts globaux. Les entreprises de recyclage, de tri et de démolition pourraient bénéficier d'une augmentation de leur chiffre d'affaires. Les recycleurs profitent en outre d'une plus grande indépendance vis-à-vis des prix et des fournisseurs de matières premières.

Les études montrent que cette exigence a un impact positif sur le climat. Grâce à l'augmentation du taux de recyclage, davantage de polystyrène secondaire est disponible pour la production d'isolants en PSE. Il en résulte une réduction des émissions de gaz à effet de serre qui seraient autrement générées par la production de polystyrène primaire. De même, l'augmentation du recyclage des matériaux réduit les quantités d'isolants en PSE incinérés et, par conséquent, les émissions de gaz à effet de serre. Le scénario de référence table également sur une augmentation du recyclage, mais seulement à partir de 2055 dans des proportions significatives. La mesure étudiée permet en revanche une réduction significative des gaz à effet de serre dès 2040, car la majeure partie du PSE contenant du HBCDD sera alors recyclée. Les économies annuelles sont estimées en moyenne à 35 000 t CO<sub>2</sub>-eq. en 2032, 80 000 t CO<sub>2</sub>-eq. en 2040 et à nouveau 35 000 t CO<sub>2</sub>-eq. en 2055. La baisse des économies en 2055 s'explique par l'utilisation de la technologie de capture et de stockage du carbone (CSC) dans la valorisation énergétique, qui devra être généralisée à partir de 2050 pour atteindre un bilan carbone neutre.

Outre les effets sur le climat et les entreprises, l'analyse a également porté sur d'autres aspects tels que l'économie globale, les facteurs de production naturels ainsi que la recherche et l'innovation. Elle a montré que, dans le scénario d'étude, par rapport au scénario zéro, les incitations à l'innovation sont nettement plus importantes, en particulier dans les domaines du démantèlement, du tri et du recyclage des matériaux isolants en PSE. Des directives claires devraient faciliter les investissements et inciter les entreprises à développer leurs propres solutions. Comme la méthode de démantèlement optimale dépend des conditions spécifiques du chantier, il faut s'attendre à une grande diversité de technologies, ce qui laisse une marge de manœuvre pour la recherche et le développement.

Sur le plan macroéconomique, les fabricants suisses de PSE devraient en bénéficier le plus nettement. Toutefois, l'introduction d'une exigence de valorisation pourrait inciter des entreprises

étrangères à entrer sur le marché du recyclage, ce qui créerait une concurrence susceptible de favoriser l'innovation.

En outre, la production de matériaux secondaires réduit la dépendance à l'égard des importations de matières premières primaires, ce qui renforce la sécurité d'approvisionnement. L'utilisation accrue de matériaux secondaires et la réduction de la production de matériaux primaires permettent également de réduire la pression sur les facteurs de production naturels, car il faut par exemple extraire moins de pétrole. Le démantèlement soigneux entraîne également une réduction de la dispersion des billes d'EPS contenant du HBCDD lors du démantèlement et donc une diminution de la pollution de l'environnement.

Du côté des administrations publiques, il faut s'attendre à des tâches supplémentaires et donc à des coûts supplémentaires pour vérifier les permis de construire et la mise en œuvre effective des mesures de valorisation.

La mesure a donc un effet positif sur la plupart des critères d'impact examinés. Les aspects environnementaux tels que le climat ou les facteurs de production naturels bénéficient particulièrement d'une prescription en matière de valorisation matière. Certaines entreprises et l'économie dans son ensemble en profitent également ; la mesure peut en outre favoriser l'innovation. Des surcoûts sont à prévoir pour les maîtres d'ouvrage, qui devront supporter la majeure partie des coûts engendrés, ainsi que pour les pouvoirs publics.

## Conclusions

Les résultats montrent qu'une prescription relative au recyclage des matériaux isolants en PSE est efficace et efficiente. Elle permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 48 % d'ici 2040 et de 52 % d'ici 2055 par rapport au scénario de référence. Bien que le potentiel écologique soit jugé pertinent, il ne doit pas être considéré comme énorme. Des coûts sont engendrés pour les entreprises (démantèlement, tri, traitement, etc.), mais sur l'ensemble de la chaîne de valeur, la mesure n'entraîne pas d'augmentation des coûts à moyen ou long terme.

Il existe toutefois des incertitudes quant à l'hypothèse relative aux coûts de démantèlement et aux évolutions technologiques dans les domaines du démantèlement, du traitement et du recyclage.

La rentabilité de cette mesure dépendra essentiellement de la question de savoir si le démontage sera adapté rapidement, même sans mesure, ou si le démontage du PSE en vue de son recyclage ultérieur entraînera des coûts supplémentaires importants. Même si la rentabilité n'était pas garantie, les coûts supplémentaires seraient probablement négligeables par rapport au coût total d'un projet de construction. Cela ne devrait donc pas constituer un obstacle décisif.

Les procédés actuels constituent toutefois un obstacle important. Les installations et procédés de recyclage ainsi que les techniques et procédés de démantèlement sélectif et de tri ne répondent actuellement pas aux exigences de l'état de la technique. La mesure examinée ici créerait un cadre dans lequel les investissements permettraient de développer les technologies plus rapidement que dans le scénario zéro. Les exigences de l'état de la technique seraient ainsi satisfaites plus rapidement. Toutefois, l'introduction d'une exigence avant que l'état de la technique ne soit atteint poserait des défis en matière d'exécution, malgré une période transitoire, et une coopération étroite avec la branche serait nécessaire.

Pour cette raison, et parce qu'une augmentation significative du démantèlement des matériaux isolants en PSE est attendue vers 2040, nous recommandons à l'OFEV d'entamer dans un premier étape le dialogue avec les acteurs économiques concernés. Cet échange est important

pour déterminer les progrès à réaliser dans les années à venir et les mesures supplémentaires qui s'imposent. D'autre part, cela permettra de déterminer comment la Confédération peut contribuer au mieux à éliminer les obstacles. Par exemple, des aides à l'investissement ou un soutien financier pour des projets de recherche appliquée pourraient accélérer les développements nécessaires. Il est également recommandé d'examiner si une réglementation pour le démantèlement propre du PSE (et éventuellement d'autres matériaux) serait pertinent. Dans environ cinq ans, la situation devrait être réévaluée afin de recourir à la réglementation légale si les efforts des industries concernées ne suffisent pas à garantir le recyclage du PSE à partir de 2040.

## Sintesi in italiano

### Situazione iniziale e obiettivo

Il Consiglio federale e il Parlamento intendono rafforzare le condizioni quadro per l'economia circolare in Svizzera. Nell'ambito della revisione della legge relativa all'iniziativa parlamentare (Pa.lv.) 20.433 viene introdotta una gerarchia dei rifiuti che prevede la priorità del riutilizzo e del riciclaggio rispetto al recupero energetico. Inoltre, il Consiglio federale ottiene la competenza di stabilire requisiti in materia di edilizia rispettosa delle risorse. Il Consiglio federale ha incaricato l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) di elaborare proposte di misure.

Nel settore dell'edilizia, i materiali isolanti contribuiscono in modo non trascurabile alle emissioni di gas serra. La produzione e il recupero energetico dei materiali isolanti in polistirene espanso (EPS) generano ogni anno circa 130 000 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente. Considerando l'aumento previsto dei materiali isolanti smantellati, il riciclaggio potrebbe contribuire in modo significativo alla riduzione di questo impatto ambientale. Attualmente, i rifiuti di materiali isolanti in EPS devono essere recuperati energeticamente, poiché l'HBCDD, un ritardante di fiamma utilizzato fino al 2016 ma oggi vietato, deve essere distrutto. Dal punto di vista tecnologico, la rimozione dell'HBCDD nel processo di riciclaggio è già possibile oggi. Nei Paesi Bassi esiste un impianto di riciclaggio e in Svizzera è in fase di sviluppo un processo alternativo. Tuttavia, l'economicità non è ancora sufficiente per rendere il riciclaggio dell'EPS una pratica diffusa.

Ciò è dovuto, tra l'altro, al fatto che i costi ambientali esterni della produzione e dello smaltimento dei materiali isolanti in EPS non sono inclusi nel prezzo. La nuova legislazione in materia di protezione dell'ambiente crea una gerarchia dei rifiuti, ma non offre alcun incentivo diretto per il riciclaggio dei materiali isolanti.

L'obiettivo della presente analisi è valutare gli effetti di una disposizione dell'ordinanza sul riciclaggio dei materiali isolanti in EPS. La disposizione esaminata è modellata sull'articolo 20 OPSR (ordinanza sui rifiuti) relativo alla demolizione del calcestruzzo: i materiali isolanti in EPS devono essere riciclati nella misura più completa possibile. Non sussisterebbe quindi alcun obbligo assoluto di riciclare i materiali isolanti in EPS e l'incenerimento rimarrebbe in linea di principio possibile (nel caso del calcestruzzo, lo smaltimento in discarica resta anch'esso consentito, nonostante l'«obbligo di riciclaggio»).

### Metodologia

Per analizzare gli effetti di una disposizione relativa al riciclaggio dei materiali isolanti in EPS sono stati presi in considerazione due scenari:

Lo **scenario zero** rappresenta il punto di riferimento. Si applica la legge sulla protezione dell'ambiente riveduta con una gerarchia dei rifiuti, ma senza prescrizioni specifiche per il riciclaggio dei materiali isolanti in EPS.

Lo **scenario di indagine** rappresenta invece uno scenario specifico in cui nella OPSR viene inserita una prescrizione relativa al riciclaggio dei materiali isolanti in EPS, analogamente al riciclaggio del calcestruzzo di demolizione.

Sulla base di interviste con rappresentanti del settore sono stati raccolti sviluppi rilevanti, sfide e dati necessari. Su questa base sono stati modellati i flussi futuri dei materiali dei pannelli isolanti in EPS. Il periodo di analisi inizia dopo un periodo transitorio di cinque anni nel 2032 e tiene

conto dei diversi impatti a breve (2032), medio (2040) e lungo termine (2055). Sulla base dei flussi di materiali e di ipotesi aggiuntive, sono stati quantificati gli impatti ecologici ed economici. Altri aspetti centrali sono stati esaminati dal punto di vista qualitativo.

## **Risultati dell'analisi d'impatto**

L'analisi ha dimostrato che, a partire dal 2040, i costi complessivi nello scenario di analisi saranno probabilmente inferiori rispetto allo scenario di riferimento e le emissioni di gas serra saranno ridotte in media della metà.

In linea di principio, i requisiti legali nello scenario di indagine comportano costi più elevati per la cernita, il trattamento e il riciclaggio del materiale isolante. Lo smantellamento comporterà costi aggiuntivi solo in via transitoria, poiché si è ipotizzato un adeguamento delle modalità di smantellamento per evitare l'immissione di EPS nell'ambiente. I rappresentanti del settore ritengono tuttavia che i costi sostenuti per il riciclaggio dei materiali siano bassi o trascurabili rispetto ai costi complessivi del progetto di costruzione (compresa la nuova costruzione). Nel complesso, i costi di smistamento, trattamento e riciclaggio possono essere in parte compensati dalla sostituzione di materiali primari. In combinazione con i presunti aumenti di efficienza e la conseguente riduzione dei costi di demolizione, la misura comporta una riduzione dei costi complessivi. Le imprese di riciclaggio, smistamento e demolizione potrebbero beneficiare di un aumento del fatturato. I riciclatori beneficiano inoltre di una maggiore indipendenza dai prezzi e dai fornitori delle materie prime.

Gli studi dimostrano che la prescrizione ha un impatto positivo sul clima. Con l'aumento della quota di riciclaggio, sarà disponibile una maggiore quantità di polistirolo secondario per la produzione di materiali isolanti in EPS. Ciò comporta una riduzione delle emissioni di gas serra che altrimenti sarebbero generate dalla produzione di polistirolo primario. Allo stesso modo, un maggiore riciclaggio dei materiali riduce la quantità di materiali isolanti in EPS inceneriti e, di conseguenza, le emissioni di gas serra. Lo scenario zero prevede anch'esso un aumento del riciclaggio, ma solo a partire dal 2055 in misura rilevante. La misura esaminata consente invece una riduzione significativa dei gas serra già a partire dal 2040, poiché a quella data sarà riciclata la maggior parte del polistirolo espanso contenente HBCDD. I risparmi annuali sono stimati in media a 35 000 t CO<sub>2</sub> eq. nel 2032, 80 000 t CO<sub>2</sub> eq. nel 2040 e nuovamente 35 000 t CO<sub>2</sub> eq. nel 2055. I minori risparmi nel 2055 sono dovuti all'applicazione della tecnologia Carbon Capture and Storage (CCS) nell'incenerimento dei rifiuti, che a partire dal 2050 dovrà essere utilizzata su tutto il territorio per raggiungere un bilancio di gas serra equilibrato.

Oltre agli effetti sul clima e sulle imprese, sono stati esaminati anche gli effetti su altri aspetti quali l'economia nel suo complesso, i fattori naturali di produzione, la ricerca e l'innovazione. L'analisi d'impatto ha dimostrato che, rispetto allo scenario zero, lo scenario di indagine presenta incentivi significativamente maggiori per l'innovazione, in particolare nei settori dello smantellamento, della cernita e del riciclaggio dei materiali isolanti in EPS. Si prevede che norme chiare faciliteranno gli investimenti e incoraggeranno le imprese a sviluppare soluzioni proprie. Poiché il metodo di smantellamento ottimale dipende dalle condizioni specifiche del cantiere, è prevedibile una grande varietà di tecnologie diverse, il che lascia spazio alla ricerca e allo sviluppo.

A livello macroeconomico, i produttori svizzeri di EPS saranno presumibilmente quelli che ne trarranno i maggiori benefici. Tuttavia, esiste anche la possibilità che, in caso di introduzione di un obbligo di riciclaggio, imprese straniere entrino nel mercato del riciclaggio, creando concorrenza che a sua volta potrebbe promuovere l'innovazione.

Inoltre, la produzione di materiali secondari riduce la dipendenza dalle importazioni di materie prime primarie, il che a sua volta porta ad un aumento della sicurezza dell'approvvigionamento. L'aumento dell'uso di materiali secondari e la riduzione della produzione di materiali primari riducono anche l'impatto sui fattori di produzione naturali, poiché, ad esempio, è necessario estrarre meno petrolio. Lo smantellamento accurato porta inoltre a una riduzione della dispersione delle sfere di EPS contenenti HBCDD durante la demolizione e quindi a un minore impatto ambientale.

Da parte delle autorità pubbliche sono previsti compiti aggiuntivi e quindi oneri per la verifica delle licenze edilizie e l'effettiva attuazione delle misure di riciclaggio.

Di conseguenza, la misura ha un effetto positivo sulla maggior parte dei criteri di impatto esaminati. In particolare, gli aspetti ambientali come il clima o i fattori naturali di produzione traggono vantaggio da un obbligo di riciclaggio dei materiali. Ne beneficiano anche alcune imprese e l'economia nel suo complesso; la misura può inoltre promuovere l'innovazione. Sono prevedibili costi aggiuntivi per i committenti, che dovranno sostenere la maggior parte dei costi, così come per le autorità pubbliche.

## Conclusioni

I risultati mostrano che un obbligo di riciclaggio dei materiali isolanti in EPS è effettivo ed efficiente. Le emissioni di gas serra possono essere ridotte del 48 % entro il 2040 e del 52 % entro il 2055 rispetto allo scenario di riferimento. Sebbene il potenziale ecologico sia considerato rilevante, non è da ritenersi enorme. Ci sono dei costi per le imprese (smantellamento, selezione, trattamento, ecc.), ma considerando l'intera catena del valore, la misura non comporta un aumento dei costi a medio-lungo termine.

Esistono tuttavia incertezze riguardo all'ipotesi sui costi di smantellamento e agli sviluppi tecnologici nei settori dello smantellamento, del trattamento e del riciclaggio.

L'efficienza in termini di costi di questa misura dipende in modo determinante dal fatto che lo smantellamento venga adeguato tempestivamente anche senza misure o che lo smantellamento del polistirolo espanso per il successivo riciclaggio comporti un notevole dispendio aggiuntivo. Anche se l'efficienza in termini di costi non fosse garantita, i costi aggiuntivi sarebbero presumibilmente trascurabili rispetto ai costi totali di un progetto di costruzione. Ciò non dovrebbe quindi costituire un ostacolo decisivo.

Tuttavia, gli attuali processi rappresentano un ostacolo rilevante. Gli impianti e i processi di riciclaggio, nonché le tecniche e i processi per lo smantellamento selettivo e la cernita non soddisfano attualmente i requisiti dello stato della tecnica. La misura qui esaminata creerebbe un quadro che consentirebbe agli investimenti di accelerare lo sviluppo delle tecnologie rispetto allo scenario zero. In questo modo i requisiti dello stato della tecnica sarebbero soddisfatti in tempi più rapidi. Tuttavia, l'introduzione di un requisito prima che lo stato della tecnica sia raggiunto comporterebbe, nonostante il periodo transitorio, difficoltà di attuazione e richiederebbe una stretta collaborazione con il settore.

Per questo motivo e poiché si prevede un aumento significativo dello smantellamento dei materiali isolanti in EPS a partire dal 2040 circa, raccomandiamo all'UFAM di avviare, in una prima fase, un dialogo con gli attori economici interessati. Questo scambio è importante, da un lato, per determinare i progressi che saranno compiuti nei prossimi anni e per individuare gli ulteriori interventi necessari a livello normativo. D'altro canto, ciò consentirà di determinare in modo mirato come la Confederazione possa contribuire in modo più efficiente alla riduzione

degli ostacoli. Ad esempio, gli incentivi agli investimenti o il sostegno finanziario a progetti di ricerca applicata potrebbero accelerare gli sviluppi necessari. Si raccomanda inoltre di valutare se una regolamentazione per lo smantellamento pulito del PSE (e potenzialmente di altri materiali) sarebbe pertinente. Tra circa cinque anni la situazione dovrebbe essere riesaminata per ricorrere alla normativa se gli sforzi dell'economia non saranno sufficienti a garantire il ciclo del PSE a partire dal 2040.

## Summary in English

### Background and Objective

The Federal Council and Parliament aim to strengthen the framework conditions for the circular economy in Switzerland. As part of the legislative revision for the parliamentary initiative (Pa.Iv.) 20.433, a waste hierarchy is being introduced, prioritizing reuse and material recovery over energy recovery. Additionally, the Federal Council is given the competence to prescribe requirements in the area of resource-conserving construction. The Federal Council has tasked the Federal Office for the Environment (FOEN) to develop proposals for measures.

Within the construction industry, insulation materials contribute significantly to greenhouse gas emissions. For example, the production and energy recovery of insulation materials made from expanded polystyrene (EPS) results in approximately 130,000 tons of CO<sub>2</sub> equivalents annually. Given the expected increase in deconstructed insulation materials, material recovery could make a significant contribution to reducing this environmental burden. Currently, EPS insulation waste must be incinerated due to the need to destroy the flame retardant HBCDD, which was used until 2016 but is now banned. Technologically, the removal of HBCDD in the recycling process is already possible today. In the Netherlands, there is a recycling plant, and an alternative process is currently being developed in Switzerland. However, the economic viability is still insufficient to implement EPS recycling on a large scale.

This is partly due to the external environmental costs of EPS insulation production and disposal are not factored in. The revised environmental protection act establishes a waste hierarchy but does not offer a direct incentive for the recycling of insulation materials.

The objective of this analysis is to assess the impacts of a regulation regarding the material recovery of EPS insulation materials. The examined provision is based on Article 20 of the Swiss Waste Ordinance (VVEA) regarding concrete demolition: EPS insulation materials would need to be recovered as completely as possible. Thus, there would be no absolute obligation to recycle EPS insulation materials, and incineration would still generally remain possible (for concrete, disposal in landfills remains also possible despite the "recovery obligation").

### Methodological Approach

To analyze the impact of a regulation for the material recovery of EPS insulation materials, two scenarios were considered:

The **reference scenario** serves as the reference point, applying the revised environmental protection act with a waste hierarchy, but without specific provisions for the material recovery of EPS insulation materials.

The **investigation scenario**, on the other hand, involves a specific scenario in which a regulation for the material recovery of EPS insulation materials, similar to concrete demolition, is incorporated into the VVEA.

Relevant developments, challenges, and necessary data were collected through interviews with industry representatives. Based on this, future material flows of EPS insulation boards were modeled. The study period begins after a five-year transition period in 2032 and considers the different impacts over short (2032), medium (2040), and long-term (2055) time horizons. Based

on material flows and additional assumptions, the ecological and economic impacts were quantified. Further key aspects were examined qualitatively.

## Results of the Impact Analysis

The analysis showed that from 2040 onwards, total costs in the investigation scenario are likely to be lower than in the reference scenario, and greenhouse gas emissions are expected to be reduced by about half on average.

In general, the legal requirement in the investigation scenario leads to higher costs for sorting, processing, and recycling the insulation material. However, the deconstruction will only lead to additional costs temporarily, as it is assumed that deconstruction methods will be adapted to prevent the entry of EPS into the environment. Industry representatives believe that the costs for material recovery will be low to negligible in comparison to the total costs of a construction project (including new construction). Overall, the costs for sorting, processing, and recycling could partly be offset by the substitution of primary materials. Coupled with assumed efficiency improvements and the resulting reduced costs in deconstruction, the measure would lead to lower total costs. Recycling, sorting, and deconstruction companies could benefit from higher revenues. Moreover, recyclers could gain increased independence from raw material prices and suppliers.

The research shows that regulation would have a positive impact on the climate. With the increased recycling rate, more secondary polystyrene would be available for EPS insulation production. This results in a reduction of greenhouse gas emissions that would otherwise be caused by the production of primary polystyrene. Additionally, the increased material recovery reduces the amount of burned EPS insulation materials, and consequently, the greenhouse gas emissions. While the reference scenario also assumes an increase in recycling, it only occurs in a significant amount from 2055 onwards. The examined measure, however, would enable a significant reduction in greenhouse gases as early as 2040, when the majority of HBCDD-contaminated EPS will be recycled. Annual savings are estimated to be 35,000 tons of CO<sub>2</sub>-eq. in 2032, 80,000 tons of CO<sub>2</sub>-eq. in 2040, and again 35,000 tons of CO<sub>2</sub>-eq. in 2055. The lower savings in 2055 are due to the use of Carbon Capture and Storage (CCS) technology in energy recovery, which must be widely implemented by 2050 to achieve net-zero emissions.

In addition to impacts on climate and businesses, the effects on other aspects such as the overall economy, natural production factors, and research and innovation were examined. The impact analysis showed that compared to the reference scenario, the investigation scenario would provide significantly greater incentives for innovation, particularly in the areas of deconstruction, sorting, and recycling of EPS insulation materials. It is expected that a regulation would make investments easier and encourage companies to develop their own solutions. Since the optimal deconstruction method depends on specific construction site conditions, a variety of different technologies is expected, leaving room for research and development.

Overall, Swiss EPS manufacturers are likely to benefit the most. However, there is also potential for foreign companies to enter the recycling market if a recovery requirement is implemented, creating competition and potentially fostering innovation. Furthermore, the production of secondary materials reduces dependence on primary raw material imports, leading to increased supply security. By increasing the use of secondary materials and reducing the production of primary materials, the burden on natural production factors is also lowered, as less oil, for example, needs to be extracted. Careful dismantling also reduces the number of HBCDD-

containing EPS beads that are carried away during dismantling, thereby reducing the environmental impact.

For the public sector, additional tasks and efforts for checking building permits and the actual implementation of recovery measures are to be expected.

Therefore, the measure has a positive effect on most of the analysed impact criteria. In particular, environmental aspects such as the climate and natural production factors benefit from a provision for material recovery. Certain businesses and the overall economy also benefit; the measure can also promote innovation. Additional efforts are expected for construction clients, as they will bear most of the emerging costs, as well as for the public sector.

## Conclusions

The results show that a provision for the material recovery of EPS insulation materials is effective regarding overall costs and the reduction of environmental impacts. It can reduce greenhouse gas emissions by 48% by 2040 and 52% by 2055 compared to the reference scenario. Although the ecological potential is considered relevant, it is not considered enormous. There are costs for businesses – due to deconstruction, sorting, processing, etc. – but across the entire value chain the measure does not lead to an overall increase in costs in the medium to long term.

However, there are uncertainties regarding the assumptions about deconstruction costs and technological developments in deconstruction, processing, and recycling.

The cost-effectiveness of this measure depends crucially on whether deconstruction is adjusted promptly without the measure or whether deconstruction of EPS for subsequent recycling involves significant additional effort. Even if cost-effectiveness were not achieved, the additional costs are expected to be negligible compared to the total costs of a construction project. Therefore, this should not be a decisive barrier.

A significant obstacle, however, is current procedures. Recycling facilities, techniques, and procedures for clean deconstruction and sorting currently cannot be considered state-of-the-art ("Stand der Technik"). The measure under consideration would create a framework that would encourage investment, leading to faster technological development than in the reference scenario. This would allow state-of-the-art requirements to be met more quickly. However, introducing a regulation before the state-of-the-art is in place would present challenges for enforcement, and close cooperation with the industry would be necessary.

For this reason, and because a significant increase in the dismantling of EPS insulation materials is expected around 2040, we recommend that the FOEN seeks dialogue with the relevant economic stakeholders as a first step. This exchange is important to determine what progress will be made in the coming years and to identify where additional measures are needed. On the other hand, this can allow to determine how the federal government can most effectively contribute to removing the obstacles. For example, investment incentives or financial support for applied research projects could accelerate necessary developments. Furthermore, it is recommended to consider whether a regulation for clean deconstruction of EPS (and potentially other materials) might be effective. In about five years, the situation should be reassessed to consider the legal provision if industry efforts are insufficient to ensure the EPS cycle by 2040.

# 1. Einleitung

## 1.1. Beschreibung des Auftrages

Der Bundesrat und das Parlament möchten die Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft stärken. Die Gesetzesrevision aufgrund der Parlamentarischen Initiative (Pa.lv.) 20.433 «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» sieht mit Art. 30d Abs. 1 USG eine Abfallhierarchie vor. Die Wiederverwendung und stoffliche Verwertung werden dadurch gegenüber der energetischen Verwertung priorisiert. Zudem erhält der Bundesrat mit Art. 35j USG die Kompetenz, Anforderungen im Bereich des ressourcenschonenden Bauens zu stellen. Der Bundesrat hat das BAFU beauftragt, Vorschläge für Massnahmen zu erarbeiten und unterstützte in seiner Stellungnahme zur Pa.lv. das Ziel, graue Treibhausgasemissionen beim Bauen zu reduzieren. In der Baubranche liegt, neben den oft genannten Materialien Beton und Stahl, ein grosses Potenzial bei Dämmstoffen. Speziell Dämmstoffe aus Kunststoff liessen sich gut rezyklieren, wodurch Ressourcen, Energie und Treibhausgasemissionen eingespart werden könnten. Bei mineralischen Dämmwollen wie Glas- oder Steinwolle ist jedoch der Energieaufwand, die alten Dämmwollen wieder einzuschmelzen gleich hoch, wie für die Produktion des Primärprodukts (Wiprächtiger et al., 2020).

In diesem Zusammenhang hat das BAFU die realcycle GmbH beauftragt, im Rahmen einer VOB-Studie zu untersuchen, welche volkswirtschaftlichen Auswirkungen von einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen zu erwarten sind.

## 1.2. Ausgangslage

In der Schweiz werden die aus expandiertem Polystyrol (EPS) bestehenden Dämmstoffabfälle zurzeit grösstenteils nicht stofflich, sondern energetisch verwertet. Ein Grund dafür ist das bis 2016 eingesetzte, heute als persistenter organischer Schadstoff (POP) klassifizierte Flammschutzmittel HBCDD, welches zerstört werden muss. HBCDD-freie Dämmstoffe können problemlos via mechanisches Recycling verwertet werden. Jedoch fallen diese Materialien zurzeit vor allem als Abschnitte auf Baustellen an, sind also mengenmässig zweitrangig. Nebst den Abschnitten werden auch Verpackungen aus EPS zu EPS-Dämmstoffen rezykliert, dies ist der heute grösste Strom rezyklierten EPS (Verband Schweizer Plastic Recycler, 2024).

Das Recycling von HBCDD-haltigen Dämmstoffen ist herausfordernd; es bedingt der Entfernung und anschliessender Zerstörung des Flammschutzmittels. Ein chemisches Recyclingverfahren, das diese Entfernung von HBCDD aus HBCDD-haltigen Dämmstoffen ermöglicht, ist zurzeit in den Niederlanden im Einsatz. Ein Verfahren für die Entfernung beim mechanischen Recycling wird in der Schweiz aktuell entwickelt. Damit wird ein Kreislaufschluss für HBCDD-haltige Dämmstoffe möglich. Dies ist insbesondere interessant, weil die Menge an rückgebauten Dämmstoffen durch Neubauten oder Sanierungen in den kommenden Jahren stark steigen wird. Die Produktion, Einbau, Rückbau und anschliessende energetische Verwertung führt heute zu gut 130'000 t CO<sub>2</sub>-eq. pro Jahr (Kulakovskaya et al., 2023). Bis 2040 wird sich die rückgebaute Menge um zwei Drittel erhöhen (Kulakovskaya et al., 2023), wobei die eingebaute Menge tendenziell abnimmt. Durch die Substitution von Primärrohstoffen kann so eine Reduktion der Treibhausgasemissionen und dadurch reduzierte Wirkungen auf das Klima erzielt werden.

## 1.3. Handlungsbedarf

Die externen Effekte durch die Umweltbelastung (insb. Treibhausgasemissionen) der Produktion und Entsorgung sind bei den EPS-Dämmstoffen nicht eingepreist. Die Kreislaufschliessung

für EPS-Dämmstoffe bedingt das Mitwirken zahlreicher Marktteilnehmenden (Bauherrschaften, Rückbauunternehmen, Recycling-Anlagen, Produzenten, etc.). Investitionen in Recycling- und HBCDD-Entfernungs-Anlagen werden nur getätigt, wenn entsprechende Mengen an Abfällen vorhanden sind oder das Rezyklat wirtschaftlich vorteilhaft ist. Und die Bauherr:innen und Rückbauunternehmen werden die Dämmstoffe kaum sortenrein rückbauen und getrennt sammeln, wenn sie keine Abnehmer dafür finden und niemand die EPS-Abfälle recyceln kann. Ohne Bedarf für einen sortenreinen Rückbau wird wiederum nicht in neue Rückbau- und Sortierungsmethoden investiert. Bisherige Studien haben zudem gezeigt, dass momentan das Recycling aus finanzieller Sicht nicht lohnend ist und bei den Bauherrschaften Mehrkosten verursacht. Mit einer entsprechenden rechtlichen Vorgabe könnte Investitionssicherheit für Aufbereiter und Recycler geschaffen werden, so dass die Kreislaufschliessung ermöglicht wird.

#### **1.4. Ziel der Analyse**

Ziel der Untersuchung ist, die Wirkung einer potenziellen Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen abzuschätzen. Dazu vergleichen wir zwei Szenarien miteinander:

- Null-Szenario: Es gibt keine spezifische rechtliche Vorgabe zur stofflichen Verwertung.
- Untersuchungsszenario: Die stoffliche Verwertung von EPS-Dämmstoffen wird rechtlich bindend.

#### **1.5. Vorgehen**

##### **1.5.1. Prozess**

Die Untersuchung folgt dem vorgegebenen Prozess einer «Volkswirtschaftlichen Beurteilung von Umweltmassnahmen» (VOBU) des BAFU gemäss dem Leitfaden von September 2023. Im Rahmen des Untersuchungskonzeptes wurden bereits erste explorative Interviews geführt, um die zu untersuchende Massnahme festzulegen.

Speziell relevant war hier das Thema der Verunreinigungen (insb. Verputz- und Kleberreste) resp. deren Entfernung. Um diese Aspekte vertiefter abklären zu können, wurden zusätzliche Interviews durchgeführt. Anschliessend wurde das Massnahmendesign konkretisiert. Darauf basiert erfolgte dann die Wirkungsanalyse und deren Bilanzierung.

##### **1.5.2. Methoden**

Folgende Methoden wurden eingesetzt:

- Interviews mit relevanten Akteur:innen der Branche
- Literaturanalysen und Internetrecherche
- Materialflussanalyse (MFA) und Ökobilanzierung (LCA)
- Ökonomische Modellierung

## 2. Untersuchungsgegenstand

### 2.1. Beschreibung der Massnahmen

Zur Analyse der Auswirkungen der Vorgabe zur stofflichen Verwertung wurde mit einem **Null-Szenario** (keine spezielle Vorgabe für Dämmstoffe) und einem **Untersuchungsszenario** (EPS-Dämmstoffe müssen soweit möglich stofflich verwertet werden) gearbeitet.

#### 2.1.1. Null-Szenario – weiter wie bisher (M0)

Im Null-Szenario gilt das revidierte USG mit dem gestärkten Grundsatz der Abfallhierarchie, die stoffliche der energetischen Verwertung vorzuziehen. Es gibt jedoch keine spezifische Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen.

#### 2.1.2. Untersuchungsszenario – Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS- Dämmstoffen (M1)

Im Untersuchungsszenario gehen wir davon aus, dass eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen in der Abfallverordnung (VVEA) verankert wird. Spezifisch sieht das Szenario vor, einen neuen Artikel in die VVEA einzuführen und dort explizit die stoffliche Verwertung von EPS-Dämmstoffen vorzuschreiben. Die Verwertung muss nach dem Stand der Technik erfolgen und die Umwelt weniger belasten als eine alternative Entsorgung. Die genauen Rahmenbedingungen und detaillierten Vorgaben werden im Kapitel 4.1 beschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass die Betreiber von Recyclinganlagen Unterstützung über bestehende Förderinstrumente beantragen. Es braucht voraussichtlich Informationsaktivitäten für Bauherren und ev. Aus- und Weiterbildungen für Rückbauunternehmen zu den Pflichten sowie Anforderungen an den Rückbau. Diese werden durch die betroffenen Wirtschaftsakteure angeboten. Es bestehen beim Bund rechtliche Grundlagen, Informations- und Beratung sowie Aus- und Weiterbildung mit Finanzhilfen zu unterstützen.

Zu beachten ist, dass die Vorgabe nicht vorschreibt, wo die Verwertung erfolgen muss. Es ist entsprechend möglich, auch Verwertungsanlagen im Ausland (z.B. PSLoop in den Niederlanden) zu nutzen. Die Vorgabe soll den regulatorischen Rahmen schaffen, damit die Dämmstoffe

#### Recycling von XPS-Dämmstoffen

Grundsätzlich besteht neben den EPS-Dämmstoffen auch bei den XPS-Dämmstoffen (extrudiertes Polystyrol) ein Potenzial, Treibhausgasemissionen durch Recycling einzusparen. Für die Herstellung des XPS wird das geschmolzene Polystyrol mit einem Treibmittel aufgeschäumt. Dieses Treibmittel befindet sich in den Poren der Polystyrolplatte und trägt auch zur Dämmfähigkeit bei. Über die Zeit hinweg entweicht das Treibmittel jedoch aus der Platte. Vor 1990 wurde häufig FCKW 12 eingesetzt, nach 1990 kamen bis ca. 2004 HFCKW 22 und 142b zum Einsatz. Diese Treibmittel sind potente Treibhausgase. Je nach verwendeter Modellierung der Diffusion befinden sich heute noch Klima-relevante Mengen an Treibmittel in den XPS-Dämmstoffen.

Im Gegensatz zu der Verbrennung in der Kehrrechtverwertungsanlage KVA würden die im XPS verbleibenden Treibmittel im Recyclingprozess freigesetzt. Dies gilt es zu vermeiden, weshalb eine Vorgabe für die stoffliche Verwertung von XPS nur sinnvoll ist, wenn sichergestellt werden kann, dass (fast) keine (H)FCKW mehr enthalten sind oder diese entsprechend aufgefangen und zerstört werden können. Aufgrund der diesbezüglich bestehenden Unsicherheiten wurde das Recycling von XPS im Rahmen dieser VOB-Studie ausgeklammert.

schweizweit koordiniert und flächendeckend separat gesammelt, unter ausreichender Ausschleusung des HBCDD und anderer Schadstoffe rezykliert und als Sekundärmaterialien wieder in Umlauf gebracht werden. Das Ziel ist, dass die Umweltbelastung der Entsorgung und Produktion signifikant reduziert wird.

## **2.2. Grundlagen für die Modellierung der Szenarien**

### **2.2.1. Untersuchungszeitraum und räumliche Eingrenzung**

Frühestmögliches Inkrafttreten einer angepassten VVEA ist 2027. Dann beginnt eine Übergangsfrist von fünf Jahren, die Verwertungspflicht würde damit ab 2032 gelten. Der Untersuchungszeitraum der VOB-Studie beginnt nach Ablauf dieser Übergangsfrist im Jahr 2032. Ab diesem Zeitpunkt liegt der Fokus auf den jährlichen Auswirkungen (Kosten und Nutzen). Dabei berücksichtigen wir, dass sich die Auswirkungen aufgrund des langen Lebenszyklus von Dämmstoffen kurz- (2032), mittel- (2040) und langfristig (2055<sup>1</sup>) unterschiedlich entwickeln können (Heeren & Hellweg, 2019). Die Wirkungsanalyse wird entsprechend für diese Jahre gemacht. Die Vorgabe ist rechtlich bindend für die Dämmstoffe, welche in der Schweiz als Abfall anfallen. Dies sind einerseits die Verschnitte während der Bauphase und andererseits die rückgebauten Dämmstoffe. Als räumliche Systemgrenze für die Auswirkungen sehen wir damit den nationalen Perimeter. Die Vorgabe wird jedoch nicht definieren, wo die stoffliche Verwertung stattfinden muss. Folglich werden wir im Wirkungsmodell berücksichtigen, dass diese auch im Ausland erfolgen kann.

### **2.2.2. Nationales Umfeld, andere Politiken**

Bereits heute haben verschiedene Kantone der Schweiz, wie Genf, Zürich und Aargau, Merkblätter und Richtlinien zum Rückbau von EPS-Dämmstoffen veröffentlicht, um die Verbreitung von EPS in der Umwelt und den Eintrag von HBCDD zu minimieren. In Genf müssen beim Rückbau Massnahmen ergriffen werden, die die Eintragung von EPS in die Umwelt verhindern. Der Kanton Zürich hat in Zusammenarbeit mit dem EPS-Verband das Merkblatt «Entfernung von EPS-Fassadendämmungen bei Sanierungen und Rückbau» publiziert, um den Stoffkreislauf der alten EPS/XPS-Fassadendämmplatten zu fördern. Der Kanton Aargau hat ebenfalls ein Merkblatt «Recycling Gebäuderückbau» herausgegeben, das auf die Bedeutung eines geordneten Rückbaus hinweist. Gemäss verschiedenen Gesprächspartnern werden die Kantone ihre Bestrebungen, die Verteilung von EPS in der Umwelt und den Eintrag von HBCDD beim Rückbau zu verhindern, in Zukunft verstärken. Es ist auch denkbar, dass Rückbauunternehmen resp. Bauherrschaften privatrechtlich von Personen verklagt werden, die eine Schädigung durch die Verteilung des EPS geltend machen können. In einigen Fällen werden die Rückbauunternehmen deshalb freiwillig Massnahmen ergreifen, um die Verteilung von EPS einzudämmen. Ein sauberer Rückbau begünstigt die Kreislaufführung von EPS-Dämmstoffen grundsätzlich, da dann das Material schon aufbereitet für die stoffliche Verwertung zur Verfügung steht. Für die Wirkungsanalyse, insbesondere die ökonomischen Berechnungen, nehmen wir deshalb an, dass der saubere Rückbau von EPS-Dämmstoffen mittelfristig auch im Null-Szenario kommt.

Eine Reihe an weiteren Vorgaben könnte dazu beitragen, dass die Unternehmen freiwillig EPS recyceln. Dazu zählen in der Schweiz das ab 2025 geltende Klima- und Innovationsgesetz, welches Unternehmen dazu verpflichtet, bis spätestens 2050 Netto-Null-Emissionen aufzuweisen.

---

<sup>1</sup> Für 2055 ist ein Fließgleichgewicht für eingesetzte und rückgebaute Baumaterialien prognostiziert (Heeren & Hellweg, 2019)

Sie können freiwillig Fahrpläne erstellen, die verpflichtend sind, wenn sie Förderungen gemäss Artikel 6 KIG erhalten wollen.

Weiter sind viele Unternehmen mit Vorgaben aus der EU konfrontiert, welche ebenfalls auf die Erreichung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele abzielen. Dazu zählen unter anderem die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), der Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), die Taxonomie-Verordnung sowie die Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD).

Zudem planen verschiedene Kantone, die Kreislaufwirtschaft in der Verfassung oder in Gesetzen zu verankern. Je nach kantonalen Anforderungen und Umsetzung auf Verordnungsebene hätte dies potenziell einen Einfluss auf die Rückbaupraktiken und das Recycling. Im Kanton Zürich wurde im Herbst 2022 der Verfassungsartikel «Stoffkreisläufe» vom Volk angenommen.

Die Kantone sind beauftragt, Grenzwerte für Graue Energie von Neubauten und wesentlichen Änderungen bestehender Gebäude festzulegen (Art. 45 Abs. 3 Bst. e EnG). Die Anreizwirkung für die stoffliche Verwertung von Dämmstoffen hängt vom Ambitionsniveau der Grenzwerte ab. Die Energiedirektorenkonferenz (EnDK) adressiert Grenzwerte für graue Energie im Vernehmlassungsentwurf der MuKE 2025. Der Entwurf beschreibt, dass viele Kantone Grenzwerte erst ab 2030 in Verordnungen vorgeben werden. In gewissen Kantonen werden sie erst viel später in Kraft treten, wie Erfahrungen mit der MuKE 2014 zeigen. Zudem sind die Vorschläge der Grenzwerte so gesetzt, dass sie primär sensibilisierend wirken und nicht zu einer deutlichen Reduktion der grauen Emissionen führen werden.

Diese weiteren genannten Bestrebungen von Politik und Industrie im Bereich Nachhaltiges Bauen werden für die Wirkungsanalyse ausgeklammert.

### **2.2.3. Regulierung von HBCDD**

HBCDD wurde 2014 in den Anhang A des Stockholmer Übereinkommens über persistente organische Schadstoffe<sup>2</sup> aufgenommen, d.h. es gehört zu den problematischsten Stoffen. Damit darf es in der Schweiz seit 2016 nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Wir gehen davon aus, dass in der Schweiz eingebaute EPS-Dämmstoffe bis 2016 mit HBCDD versetzt wurden, danach nicht mehr. Um HBCDD-haltige Produkte wie EPS-Dämmstoffplatten von vor 2016 dem Recycling zuführen zu können, braucht es eine Recyclingtechnologie, welche in der Lage ist, die HBCDD-Konzentration im Rezyklat auf eine «unvermeidliche Verunreinigung» gem. ChemRRV zu reduzieren. Wichtig dabei ist, diese Vorschrift darf nicht unter Beimischung von Primärmaterial erreicht werden, sondern muss im reinen Rezyklat eingehalten werden. Das Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (Fraunhofer IVV) entwickelte das CreaSolv®-Verfahren, mit welchem die Entfernung des HBCDDs aus betroffenen Dämmstoffen möglich ist. In einer Demonstrationsanlage in den Niederlanden konnte gezeigt werden, dass die Einhaltung der Vorschrift mit diesem chemischen Recycling inkl. Produktion von Sekundärdämmplatten technisch funktioniert. Zudem ist der Verband epsSwiss an der Entwicklung eines Verfahrens, in welchem das HBCDD während des mechanischen Recyclingprozesses entfernt werden soll. Für die Wirkungsanalysen gingen wir davon aus, dass entsprechende Verfahren für die Eliminierung des HBCDDs nach dem jeweils aktuellen Stand der Technik vorhanden sind.

---

<sup>2</sup> <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2004/347/de>

#### 2.2.4. Notwendige Prozessschritte und deren technologische Entwicklung

Entscheidend für den Kreislaufschluss sind zudem die dem Recycling vorgelagerten Prozesse (Rückbau, gegebenenfalls Sortierung und Aufbereitung), welche sicherstellen, dass das rückgebaute EPS dem Recycling zugeführt werden kann. Diese Prozesse sind mit gewissen Hürden behaftet, benötigen technologische Entwicklungen und sind von politischen Bemühungen abhängig, auf welche wir nachfolgend eingehen möchten.

##### *Rückbaupraktiken*

Der momentane Stand der Technik für den Rückbau ist die Baggerschaufel, mit welcher die Dämmung von der Fassade geschält wird. Dadurch wird der Dämmstoff jedoch nicht sauber abgetrennt, Verunreinigungen wie Verputz oder Kleber werden mit abgeschält. Zudem kann beim Rückbau mit der Baggerschaufel oft nicht verhindert werden, dass sich das EPS in der Umwelt verteilt. Ausserdem können manche Fassaden leicht von der Baggerschaufel beschädigt werden. Bei Backsteinfassaden kann bspw. nicht mit dem Bagger gearbeitet werden. Und bei Sanierungen wird in der Regel sowieso ein Gerüst gestellt, was den Rückbau mit der Baggerschaufel verhindert. Werden Massnahmen ergriffen, um die Verteilung von EPS beim Rückbau in die Umwelt zu verhindern, wie von uns angenommen, folgt, dass die Rückbauunternehmen nach dem Rückbau mit der Baggerschaufel viel Zeit in Aufräumarbeiten investieren müssen. Alternativ wird eine Schutzhülle um das Gebäude aufgebaut. Innerhalb der Schutzhülle kann nicht mehr mit dem Bagger gearbeitet werden.

In all diesen Situationen muss das Material von Hand abgetragen werden. Dafür wurden bereits erste Werkzeuge entwickelt, wie bspw. Heiss Schneidegeräte (siehe Abbildung 1). Es ist gut möglich, dass Baggerköpfe entwickelt werden, die mit einem heissen Draht oder einem Heisschaber zum EPS-Rückbau eingesetzt werden. Verschiedene Unternehmen, die wir befragt haben, investieren bereits in die Entwicklung derartiger Lösungen.



*Abbildung 1: Heiss Schneidegerät für den Rückbau HBCDD-haltiger Fassadendämmungen. Quelle: EcoHeatDynamics*

In einem Forschungsprojekt der RWTH Aachen wurde zudem der Rückbau mit einem Roboterarm getestet, an dessen Kopf verschiedene Schredder und ein heisser Draht verwendet werden (siehe Abbildung 2). Damit kann erst der Verputz gelöst, dann das EPS sortenrein abgeschält und schliesslich der Kleber abgetrennt werden. Das Projekt zeigt, dass ein roboterassistierter Rückbau grundsätzlich möglich ist.

So nahmen wir an, dass die Rückbauunternehmen mittelfristig diese Technologien einsetzen werden.

### Sortierung

EPS wird meistens nicht separat, sondern in Mischmulden mit anderen brennbaren Abfällen gesammelt. Diese Dämmstoffplatten müssen für ein Recycling vom restlichen Abfall getrennt werden. Dies erachteten wir als die Aufgabe von Sortieranlagen. Wir nahmen an, dass diese Anlagen über den betrachteten Zeithorizont dank verbesserter Technologie immer grössere Anteile EPS aus dem gemischten Bauabfall herausfiltern können. Wie schnell sich diese Technologien verbessern, ist abhängig vom betrachteten Szenario resp. den unterschiedlichen Mengen, welche durch die Sortieranlagen umgesetzt werden. Je sauberer das EPS bereits auf der Baustelle abgetrennt wird, desto wahrscheinlicher wird es separat gesammelt und direkt in die Verwertung gelangen, ohne dass es aussortiert werden muss.

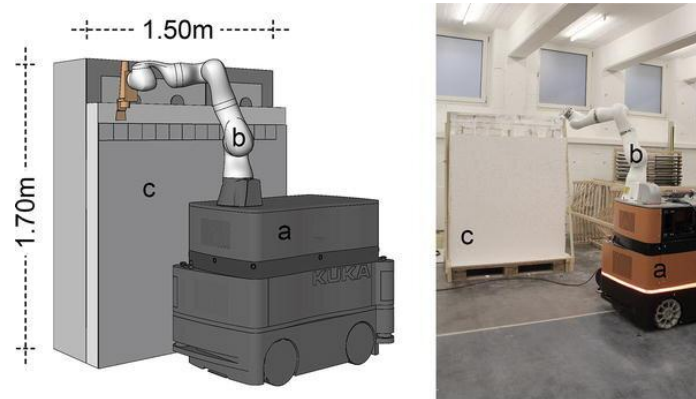


Abbildung 2: Roboterarm für den sauberen Rückbau von EPS-Dämmplatten Quelle: Lublasser et al 2017

### Aufbereitung – Entfernung der Verunreinigungen

Bei den Verunreinigungen handelt es sich insbesondere um den Verputz und die Kleberschicht, die vor resp. hinter den Dämmstoffen angebracht wurden. Wie vorher beschrieben, befinden sich Technologien in der Entwicklung, die zu einer direkten Abtrennung der Verunreinigungen bereits während dem Rückbauprozess führen. Andere Optionen bestehen in der nachträglichen Abtrennung zum Beispiel in einer Anlage mit einem Windsichter. Diesen Entfernungsschritt von Verunreinigungen bezeichnen wir als Aufbereitung.

Es war für keinen der Gesprächspartner möglich, eine klare Abschätzung zu machen, welche Technologie sich durchsetzen wird. Gut möglich ist auch, dass situativ unterschiedlich vorgegangen würde, z.B. bei Sanierungen auf der Baustelle und bei Rückbau in einer separaten Anlage. Für unsere Analyse haben wir angenommen, dass entsprechende Technologien kommen werden und es möglich sein wird, die Verunreinigungen soweit notwendig abzutrennen. Mindestanforderungen zu Reinheitsgraden für die unterschiedlichen Prozessschritte erachten wir jedoch als einen zu grossen Eingriff in den Markt, da so einzelnen Marktteilnehmenden viel Verantwortung zugeschoben wird und die Vorgabe auch als Schlupfloch genutzt werden könnte. Zudem bestehen zu viele Unsicherheiten hinsichtlich welcher Technologien in welchen Situationen am effizientesten eingesetzt werden kann, so dass Mindestanforderungen möglicherweise am falschen Ort ansetzen würden. Wir haben entsprechend darauf verzichtet, Vorschläge zu erarbeiten und entsprechende Annahmen für unsere Szenarien zu verwenden.

Die zurzeit in Europa bekannten Recyclinganlagen können nicht mit grossen Mengen an Verunreinigungen auf den Dämmstoffen umgehen. Es bestehen Grenzwerte von 10 (alporit AG<sup>3</sup>) resp. 5 (PSLoop<sup>4</sup>) Massenprozent an Verunreinigungen. Dies stellt mit den bisherigen Einbaupraktiken (Kleben und Verputzen) eine grosse Herausforderung für die stoffliche Verwertung dar. Andere Informationsquellen zum CreaSolv®-Verfahren, welches von PSLoop verwendet wird, deuten aber auch darauf hin, dass es möglich sein sollte, Anhaftungen, eingebettete Verunreinigungen, eingebettete Gefahrstoffe und auch Geruchstoffe zuverlässig aus dem Eingangsstrom zu entfernen bzw. abzureichern<sup>5</sup>. Zurzeit ist es aber im Rahmen des HBCDD-Entfernung- resp. Recyclingprozess nicht möglich, die Verunreinigungen direkt zu entfernen.

#### *Schadstoffe ausserhalb der Dämmplatten (externe Schadstoffe)*

Im Klebstoff und im Verputz, mit welchem die Dämmplatten montiert wurden, sind potenziell Asbest oder Chlorparaffine enthalten. Die Vernichtung dieser Schadstoffe hat grundsätzlich Priorität vor einer stofflichen Verwertung. Damit steht die energetische Verwertung bei betroffenen Dämmstoffen im Vordergrund. Da aber die Verunreinigungen, welche potenziell diese Schadstoffe enthalten, gemäss vorherigem Punkt sowieso von den Dämmplatten fürs Recycling getrennt werden müssen, liegt der Fokus auf diesen notwendigen technischen Lösungen. Die Abklärungen haben ergeben, dass je nach angewendeter Technologie diese Schadstoffe beim Aufbereitungsprozess berücksichtigt werden sollten. Beispielsweise muss beim Windsichter aufgepasst werden, dass die Asbestfasern nicht als Feinmaterial im Luftstrom ausgeschieden werden. Grundsätzlich ist es jedoch so, dass die Schadstoffe gemeinsam mit den Verunreinigungen entfernt werden, da sie in diesen enthalten sind. Sie sollten damit für das tatsächliche Recycling des EPS-Materials unproblematisch sein.

### **2.3. Internationales Umfeld**

Das EPS-Recycling im nahen Ausland konzentriert sich, ähnlich wie in der Schweiz, vor allem auf Verpackungen, Produktionsabfälle und Abschnitte.

In Italien rezykliert beispielsweise die Airpol Italia EPS-Boxen aus der Landwirtschaft. Gemäss eigenen Angaben haben sie 2021 über 1'000 t rezykliert. In Deutschland verarbeitet u.a. HIRSCH Porozell Abschnitte zu neuen Dämmplatten (GreenMAX, 2024; HIRSCH Porozell Germany, 2024). Die Mitglieder des deutschen Industrieverbandes Hartschaum e.V. setzen sich für das Recycling ein und arbeiten über „EPS Cycle“ auch mit Verbänden in Dänemark und den Niederlanden zusammen.

In Österreich wurden Empfehlungen für den Rückbau und die getrennte Sammlung von EPS- und XPS-Dämmstoffen publiziert. Darüber hinaus gibt es seit dem 9. September 2024 einen gratis Abholdienst für EPS-Dämmstoffabschnitte von Baustellen. Gesammelt werden saubere Abschnitte. Die Abholung kann via WebApp bestellt werden. Diese Bestrebungen laufen innerhalb des Projektes EPSolutely, in welchem zusätzlich auch die Sammlung und Aufbereitung von EPS aus dem Rückbau getestet wird (Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum, 2024).

---

<sup>3</sup> Mündliche Aussage Oliver Knebel, 22.04.2024

<sup>4</sup> Annahmebedingungen für EPS zum Recycling durch PS Loop; Abgerufen von (18.04.2024): [https://www.psloop.eu/wp-content/uploads/2023/09/DE-AnnahmeinformationAcceptance-Information-Sheet\\_PSLoop\\_2023-09-28.pdf](https://www.psloop.eu/wp-content/uploads/2023/09/DE-AnnahmeinformationAcceptance-Information-Sheet_PSLoop_2023-09-28.pdf)

<sup>5</sup> EPC Engineering & Technologies; Abgerufen von (24.04.2024): <https://epc.com/eps-recycling-anlagen/>

PSLoop in den Niederlanden zeigte anhand einer mittelgrossen Demonstrationsanlage, dass mit dem CreaSolv®-Verfahren kontinuierlich HBCDD aus EPS-Abfall entfernt werden kann und so Rezyklat entsteht, welches wieder eingesetzt werden kann. Aufgrund hoher Energiekosten, billiger Importe von Primärmaterial aus nicht-europäischen Ländern und weiterer Unsicherheiten im Zusammenhang mit Abfallentsorgung kann die Anlage jedoch aktuell nicht wirtschaftlich betrieben werden und externe Investoren werden gesucht (Stand März 2024<sup>6</sup>). Damit steht grundsätzlich eine Technologie zur Verfügung, es braucht aber noch bessere Rahmenbedingungen, damit Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können.

## 2.4. Alternative Instrumente

Es bestehen, nebst einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung, verschiedene weitere Politikinstrumente, die theoretisch zur Erreichung des Ziels einer höheren stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen genutzt werden könnten. Dabei gibt es direkte alternative Möglichkeiten, wie die stoffliche Verwertung rechtlich verankert oder gefördert werden kann:

- Mit einem Verbrennungsverbot wäre die thermische Verwertung in einer KVA nicht mehr möglich und die stoffliche Verwertung wird zum einzig legalen Verwertungsweg für die Dämmstoffe. Dies bedürfte einer Anpassung der Betriebsbewilligungen für Verbrennungsanlagen; explizit müsste festgehalten werden, dass keine EPS-Dämmstoffe mehr angenommen werden dürfen. Zur Umsetzung des Verbrennungsverbotes bräuhete es wahrscheinlich eine Kontrolle der Anlieferungen durch die KVAs. Dies ist mit erheblichem Mehraufwand seitens KVA verbunden und entspricht nicht dem Auftrag der KVAs, Materialien für die Entsorgung anzunehmen und sicher zu entsorgen. Ein Verbrennungsverbot entspricht einer allgemeinen Pflicht zur stofflichen Verwertung. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine Umsetzung sehr schwierig wäre und/oder aufwändige Kontrollmechanismen eingeführt werden müssten.
- Die Einführung einer Vorgabe für einen Mindest-Rezyklatanteil in neu produzierten EPS-Dämmstoffen würde Produzenten und Bauherren verpflichten, Rezyklat zu beschaffen und die Kosten für das Recycling zu tragen. Dies könnte jedoch zu höheren Produktionskosten führen (da Rezyklat typischerweise teurer ist als neues Material) und möglicherweise dazu, dass einige Hersteller von der Produktion absehen. Zudem müssen klare Definitionen für „Rezyklat“ festgelegt werden, um Missverständnisse zu vermeiden – etwa ob es sich um post-industrielles Material, Baustellenabfälle oder Rückbaumaterial handelt. Auch die Frage, ob Rezyklat aus Verpackungen einbezogen wird, sollte geklärt werden, um eine effektive Umsetzung der Regulierung sicherzustellen. Zudem ist gut zu prüfen, ob eine solche Vorgabe für nur ein Dämmstoffmaterial nicht zu einer Wettbewerbsverzerrung führt und, ob die Kompatibilität mit der Bauproduktegesetzgebung gegeben wäre. Die Hürden für die stoffliche Verwertung von EPS- und XPS-Abschnitten sind deutlich geringer als für das Rückbaumaterial, da sie unverschmutzt und schadstofffrei sowie einfach sammelbar sind.
- Eine Vorgabe für die stoffliche Verwertung der Abschnitte könnte die Entwicklung effizienter Sammelssysteme und logistischer Prozesse für diese Materialien unterstützen. Gemäss unserer Materialflussanalyse handelt es sich bei den Abschnitten jedoch um geringe Mengen, die mit einer Vorgabe zusätzlich rezykliert werden würden (siehe Kapitel 5.1.2), wodurch auch das ökologische Potenzial begrenzt ist. Zudem besteht bereits ein Interesse seitens der Hersteller diese Materialien zurückzuführen. Aus diesen Gründen erachten wir als wenig zielführend, nur für die Abschnitte den politischen Prozess einer

<sup>6</sup> [https://www.psloop.eu/news/project\\_completion/](https://www.psloop.eu/news/project_completion/) (bezogen am 16.12.2024)

rechtlichen Vorgabe anzugehen. Im Falle einer Vorgabe könnte, um das Potenzial der Abschnitte, die HBCD-frei und unverschmutzt sind, früher auszuschöpfen, die Übergangsfrist geringer sein als die angedachten fünf Jahre, da weniger Umstellungen notwendig sind. Eine weitere Option wäre die Einführung einer allgemeinen Vorgabe für die stoffliche Verwertung von Bauabschnitten, die auch andere Bauteile (z. B. Rohre) sowie verschiedene Materialien umfasst. Wir erwarten aber eigentlich, dass diese low-hanging fruits durch die Branche angegangen werden.

- Die Erhöhung der Annahmekosten für Kunststoffdämmstoffe in den Kehrrichtverbrennungsanlagen könnte einen entscheidenden Anreiz zur stofflichen Verwertung dieser Materialien schaffen. Durch eine signifikante Anhebung der Gebühren würde die stoffliche Verwertung im Vergleich zur energetischen Nutzung schneller wirtschaftlich attraktiv werden. Diese Massnahme könnte dazu beitragen, die Recyclingquote zu erhöhen und die Kreislaufwirtschaft im Bereich der Dämmstoffe voranzutreiben. Allerdings fehlt es derzeit an einer gesetzlichen Grundlage, um eine solche Regelung umzusetzen.

Nebst den alternativen Instrumenten gibt es verschiedene begleitende, resp. ergänzende Massnahmen, die ergriffen werden können. Während diese ergänzenden Massnahmen eine rechtliche Vorgabe unterstützen können, können sie auch ohne diese angegangen werden, so dass sich der Markt dennoch in Richtung stoffliche Verwertung von EPS-Dämmstoffen bewegt. Für ein Teil dieser Instrumente liegt die Verantwortung beim Bund, bei anderen bei den betroffenen Wirtschaftsakteuren, wobei der Bund Unterstützung bieten und Anreize setzen kann. Einige sind auch Regulierungen, welche übergreifend umgesetzt werden und gegebenenfalls, potenziell mit entsprechenden Anpassungen, einen Einfluss auf den EPS-Kreislauf haben können.

- Der Bund kann bestehende und neue Bestrebungen aus der Industrie vermehrt finanziell unterstützen, zum Beispiel mit Investitionsförderungen und / oder -sicherheiten zugunsten der für das Recycling benötigten Anlagen. Auch die Unterstützung von angewandten Forschungsprojekten kann einen Beitrag leisten. In Österreich wurde beispielsweise das Projekt EPSolutely gefördert, das innovative Systeme zur EPS-Rückholung testete. Dank der Unterstützung des Baus von Anlagen sowie der Entwicklung von Verfahren und Rückbausystemen könnten Grundsteine gelegt werden und die Akzeptanz von Vorgaben erhöhen.
- Die Kantone sind beauftragt, Grenzwerte für Graue Energie von Neubauten und wesentlichen Änderungen bestehender Gebäude festzulegen (Art. 45 Abs. 3 Bst. e EnG). Falls die Kantone ambitionierte und über die Zeit sinkende Grenzwerte einführen, wird dies eine grössere Nachfrage nach emissionsreduzierten Baustoffen schaffen. Auch Recycling-EPS könnte gewählt werden, um die Grenzwerte zu erreichen. Ob die Grenzwerte allein dazu führen, dass die für die Produktion von Recycling-EPS nötige Infrastruktur und Logistik aufgebaut wird, ist fraglich.
- Durch die Einführung einer erweiterten Produzentenverantwortung (EPR) werden durch Beiträge von Herstellern, Importeuren und Inverkehrbringern die Rücknahme und Verwertung der Produkte finanziert. Falls keine Branchenlösung zustande kommt, kann der Bund ein obligatorisches Finanzierungssystem vorgeben. Eine auf EPR basierende Finanzierung liegt beispielsweise für PET-Getränkeflaschen (freiwilliger vorgezogener Recyclingbeitrag basierend auf Branchenvereinbarung) und Batterien (durch den Staat verordnete vorgezogene Entsorgungsgebühr) vor. Für Betonabbruch gilt eine Verwertungspflicht und für Asphalt ein Ablagerungsverbot ab 2026. Die Einführung eines EPR-Systems für Baumaterialien ist komplex, da diese Materialien über einen langen Zeitraum in Bauwerken gebunden sind. Die langfristige Finanzierung und

Umsetzbarkeit eines solchen Systems bzw. Systemwechsels bleiben unklar. Die Anwendung des EPR-Systems auf Baustoffe, die über einen langen Zeitraum in Bauwerken gebunden sind, würde zu einem Umlageverfahren führen: die Recyclingbeiträge auf heute verkauften Produkten würden das Recycling heute rückgebauter Produkte finanzieren. In Frankreich wird das EPR-System mit vorgezogenen Gebühren auch auf Bauprodukte angewendet. In diesem Fall müssten die Hersteller, Importeure und Inverkehrbringer die Kosten für das Recycling tragen bzw. über die Preise an die Kunden weitergeben. Kommt ein solches System in der Schweiz, dann würde dies die stoffliche Verwertung von EPS unterstützen.

- Mit schweizweiten Vorgaben für einen sauberen EPS-Rückbau (keine EPS-Kügelchen in die Umwelt, damit kein HBCDD-Eintrag entsteht, analog zur Handhabung in Genf) könnte der Grundstein des Kreislaufs von EPS-Rückbaumaterial gelegt werden. Mit dem sauberen Rückbau kann das EPS direkt separat gesammelt werden und bei den meisten Technologien, die dafür aktuell entwickelt werden, entfernt dieser Prozess auch bereits die Verunreinigungen. Damit sinken die Hürden fürs Recycling.
- Die Koordination zwischen den verschiedenen Akteur:innen stellt eine Herausforderung dar. Wenn Recyclingmöglichkeiten aufgebaut werden, können Aus- und Weiterbildung sowie Information und Beratung für Bauherr:innen sowie Rückbauunternehmen dabei helfen, EPS vermehrt getrennt zurückzubauen, zu sammeln und dem Recycling zuzuführen. Der Bund könnte diese Bestrebungen unterstützen, insbesondere als begleitendes Instrument, sollte die rechtliche Vorgabe zur stofflichen Verwertung kommen.
- Zusammenschluss der betroffenen Akteure (ev. Branchenvereinbarung), mit messbaren Indikatoren und Zielen. Wenn sich beispielsweise grosse Bauherren (Unternehmen und Behörden) freiwillig dazu verpflichten, möglichst sortenrein zurückzubauen, zurückgebaute Dämmstoffe zu rezyklieren und hierfür höhere Kosten zu tragen ergäbe sich Planungssicherheit für Recycler. Es ist jedoch aktuell nicht möglich abzuschätzen, ob mit einer entsprechenden Vereinbarung genug Rückbaumaterial zusammenkommt, um ein wirtschaftliches Recycling zu erreichen. Die Mehrheit der Bauherr:innen sind zudem Privatpersonen, die nicht in einer Vereinbarung vertreten wären. Eine weitere Option besteht darin, dass die wichtigsten Akteure für Logistik, Sortierung und Recycling zusammenarbeiten, um die Koordinationsprobleme abzubauen und so die Hürden für die stoffliche Verwertung zu senken.

### 3. Relevanzanalyse

Die Relevanzanalyse wird in einer VOBU typischerweise vor der vertieften empirischen Analyse durchgeführt. Sie dient dazu, die Untersuchungsschwerpunkte zu priorisieren. Tabelle 1 stellt die Relevanzanalyse dar, auf welcher die vorliegende VOBU-Studie basiert.

Tabelle 1: Relevanzanalyse

| Auswirkungskriterium (Outcomes)   | Relevanz | Begründung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| U1 Klima                          | Hoch     | Das Recycling trägt zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und damit zum Erreichen des Netto-Null Ziels bei.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| U2 Natürliche Vielfalt            | Gering   | Durch positiven Einfluss der Reduktion der Treibhausgasemissionen profitiert die natürliche Vielfalt. Zudem wird sie direkt weniger stark belastet, da weniger Primärkunststoffe produziert werden müssen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| U3 Natürliche Produktionsfaktoren | Gering   | Die Vorgabe soll direkt dazu führen, dass Ressourcen geschont und ein Materialkreislauf geschlossen werden können. Es werden weniger erdöl-basierte Primärrohstoffe eingesetzt. Die Dämmstoffe aus Sekundärmaterial stehen möglicherweise in Konkurrenz zu Dämmstoffen aus nachwachsenden Materialien, welche als nachhaltig erachtet werden. Hier besteht möglicherweise ein indirekter Effekt auf den Ressourcenverbrauch.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| G1 Gesellschaft                   | Gering   | Theoretisch trifft Generationengerechtigkeit über den Effekt auf den Klimawandel zu. Zudem wird durch reduzierte Primärmaterialnutzung die Versorgungssicherheit für zukünftige Generationen verbessert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| G2 Gesundheit                     | Gering   | Durch den positiven Einfluss der Reduktion der THG-Emissionen profitiert die Gesundheit. Dies gilt unter der Annahme, dass Schadstoffe ausreichend aus rückgebauten Dämmstoffen entfernt werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| G3 Sicherheit                     | Keine    | In dieser Thematik werden weder sicherheitsrelevanten Bestimmungen noch Risikopotenziale verändert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| W1 Unternehmen                    | Hoch     | Durch die Vorgabe wird es zu Anpassungen beim Neu-, Um- und Rückbau und allenfalls zu Mehrkosten kommen.<br>Bauherr:innen und Planer müssen im Optimalfall bereits berücksichtigen, dass Dämmstoffe rezykliert werden sollen. Zudem sollen bei der Materialwahl auch Recycling-Dämmstoffe berücksichtigt werden.<br>Rückbauunternehmen müssen die Separatsammlung der Dämmstoffe ermöglichen. Falls dies nicht machbar ist, braucht es geeignete Sortierung. Die Logistik ist herausfordernd. EPS-Dämmstoffe sind sehr leicht; transportiert wird vor allem Luft, vergütet wird jedoch in der Regel nach Gewicht.<br>EPS Recycler / Verband erhalten die Dämmstoffe zur Aufbereitung, wobei Kosteneffekte und Wirtschaftlichkeit zu analysieren sind.<br>KVA: Verminderte Einnahmen durch Wegfall der Dämmstoffe; Erhöhung der Kapazität da leichtes Material mit hohem Heizwert wegfällt. |
| W2 Haushalte                      | Gering   | Haushalte sind dann betroffen, wenn sie private Bauherr:innen sind. Es fallen allenfalls Mehrkosten für den Rückbau an. Auf der anderen Seite steht ein weiterer Dämmstoff aus Sekundärmaterial zur Verfügung. Mieter:innen sind vom Kosteneffekt voraussichtlich kaum betroffen, ausser Bauherr:innen würden potenzielle Mehrkosten auf Mieten umlagern.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| W3 Arbeitnehmende                 | Gering   | Eine Vorgabe kann zu zusätzlicher Beschäftigung in der Schweiz führen, insbesondere in Sortier-, Aufbereitungs- und Recyclingunternehmen.<br>Allenfalls entstehen, bei geändertem Einbau (speziell für selektiver Rückbau, aufwändiger bei Installation) auch mehr Arbeitsplätze,<br>Veränderte Praktiken beim Ein- und/oder Rückbau bedingen eine Anpassung bei der Ausbildung resp. benötigen möglicherweise Weiterbildungen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| W4 Öffentliche Hand               | gering   | Beim Bund wird Aufwand im Rahmen der gesetzlichen Anpassung entstehen. Mehraufwände fallen allenfalls bei Kantonen und Gemeinden an. Sie müssen den Vollzug ändern und allenfalls die Umsetzung überprüfen. Zusätzlich fallen in ihrer Rolle aus Bauherrschaften gegebenenfalls Mehrkosten beim Rückbau (Bei 0-Szenario über Art. 10 KIG enthalten) an.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

W5 Gesamtwirtschaft Mittel  
(makro)

Durch die Reduktion des Marktversagens (fehlende Internalisierung externer Kosten) wird die Eintrittsbarriere für rezyklierte Dämmstoffe reduziert. Die Vorgabe könnte allenfalls eine wettbewerbshemmende Wirkung haben, wenn die Recycler durch die Pflicht zur stofflichen Verwertung von Dämmstoffen finanziell profitieren. Dies wäre jedoch nur der Fall, wenn keine weiteren Unternehmen ebenfalls Recyclinganlagen erstellen würden und/oder bzw. rückgebaute Dämmstoffe zum Recycling nicht exportiert würden. Die Vorgabe führt zu erhöhter Rechtssicherheit und Stabilität der Rahmenbedingungen. Je nach Entwicklung der Ölpreise und klimapolitischen Vorgaben könnte sich das Recycling früher als 2040 lohnen. Bei fehlenden Kapazitäten in der Schweiz würde das Recycling und die Wertschöpfung dann ins Ausland verlagert. Durch die Anpassung des Vollzugs entstehen keine Auswirkungen auf den Aussenhandel. Durch die Anpassung des Vollzugs gibt es keine Auswirkung auf das BIP, da Verhaltensänderungen bei Unternehmen, Haushalten und öffentlicher Hand zu gering; keine Auswirkungen auf Arbeits- oder Kapitalproduktivität. Durch die Anpassung gibt es keine sozialen oder regionale Verteilungswirkungen. Durch das Recycling wird die Abhängigkeit vom Ausland reduziert und dadurch die Versorgungssicherheit erhöht.

|                                   |        |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W6 Innovation, Forschung, Bildung | Mittel | Durch die Vorgabe braucht es die Entwicklung verschiedener Technologien sowie Absprachen verschiedener Akteur:innen entlang der Wertschöpfungskette. Die Vorgabe wird somit wahrscheinlich zu mehr Innovation und Dynamik auf dem Dämmstoffmarkt führen.         |
| Z1 Regionen                       | Gering | Gemäss swisspor AG könnte das Recycling auch im Tessin umgesetzt werden. Alternativ müssen rückgebaute Dämmstoffe zu KVA gefahren werden. Transportwege zur Recyclinganlage sind möglicherweise regional stark unterschiedlich, dies soll berücksichtigt werden. |
| Z2 Ausland                        | Gering | Die Vorgabe führt zu erhöhtem Recycling und dadurch zu reduzierter Extraktion von Erdöl und somit zu weniger Treibhausgasemissionen und weniger negativen Auswirkungen auf die Umwelt bei der Gewinnung. Der Markt für Sekundärdämmstoffe wird gestärkt.         |

Aus dieser Relevanzanalyse geht hervor, dass folgende VOB-Kriterien vertieft zu beurteilen sind:

- U1 Klima – Relevanz hoch
- W1 Unternehmen – Relevanz hoch
- W6 Innovation, Forschung – Relevanz mittel

W5 Gesamtwirtschaft bewerten wir als mittel, was eine vertiefte Abklärung erfordern würde. Gemeinsam mit dem BAFU wurde entschieden, nur das Unterthema «Wettbewerb» relativ schlank abzuhandeln, indem noch auf die Sammlung, Sortierung und Verwertung im Ausland eingegangen wird.

Qualitativ und kurz diskutiert werden die Kriterien U3 (Natürliche Produktionsfaktoren), W4 (Öffentliche Hand) und Z1 (Regionen). Die tatsächlichen Auswirkungen werden hier als gering eingestuft, sie sind jedoch aus politischen Gründen (W4 & Z1) resp. im Zusammenhang mit Kreislaufwirtschaft und der Schliessung von Ressourcenströmen (U3) relevant.

## 4. Auswirkungen der Massnahmen

### 4.1. Darstellung des Vollzugs

#### 4.1.1. Verankerung in der Gesetzgebung

Art. 30d USG priorisiert neu die stoffliche vor der energetischen Verwertung. Art. 12 VVEA wird bereits entsprechend angepasst. Um die stoffliche Verwertung für die EPS-Dämmstoffe vorzuschreiben, genügt die allgemeine Verwertungspflicht nach Art. 12 VVEA jedoch nicht. Es müssten zusätzlich explizite Vorgaben in einem neuen Artikel in der VVEA eingeführt werden. Diese Regelung würde analog zu Art. 20 VVEA ausgestaltet; EPS-Dämmstoffe müssten möglichst vollständig verwertet werden. Es bestünde somit keine absolute Pflicht, EPS-Dämmstoffe zu verwerten und die Verbrennung bliebe grundsätzlich weiterhin möglich (analog zu Beton, welcher auch abgelagert werden darf, trotz der «Verwertungspflicht» nach Art. 20).

Nebst den rückgebauten Dämmstoffen sind auch Dämmstoffabschnitte, welche beim Neubau oder der Sanierung anfallen, von der stofflichen Verwertungspflicht betroffen.

Der Stand der Technik muss hinsichtlich folgender Punkte erarbeitet werden:

- Das HBCDD kann mit einem wirtschaftlich tragbaren Prozess so weit aus den Rückbau-Dämmstoffen entfernt werden, dass HBCDD höchstens als «unvermeidliche Verunreinigung» gem. Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) enthalten ist.
- Die Recyclinganlagen können mit einem mittleren Grad an Verunreinigungen umgehen oder es gibt eine wirtschaftlich tragbare Methode, um die Verschmutzungen vorgängig zu entfernen.

Weiter müssten die VVEA-Vollzugshilfe<sup>7</sup> und die «Entsorgungstabelle Bauabfälle»<sup>8</sup> angepasst werden. Der *generelle Entsorgungsweg* würde in *Anlage zur stofflichen Verwertung* geändert (aktuell KVA). Entsprechend müssen Bauherren EPS-Dämmungen in Entsorgungskonzepten thematisieren und entsprechend zurückbauen. Zudem sind gegebenenfalls Ausnahmen zu definieren, in welchen die stoffliche Verwertungspflicht nicht gilt. Dies kommt insbesondere zum Zuge, falls die Dämmstoffe mit anderen Schadstoffen (Asbest, PCBs, Chlorparaffine) kontaminiert sind. In diesen Fällen ist eine entsprechende Entsorgung oder, falls möglich, Reinigung notwendig.

Ausserdem würden für das Recycling von EPS allenfalls Anforderungen für die Verwendung von zurückgewonnenem HBCDD-haltigem Material spezifiziert, um die Anforderungen der ChemRRV zu erfüllen (verschiedene Anknüpfungspunkte möglich: in der ChemRRV im Anhang 1.1<sup>9</sup>, in einem Stand-der-Technik-Dokument (Regelungsniveau unter Vollzugshilfe), in einer Feststellungsverfügung).

Für die Information der zuständigen Akteure wird auf der Website «polludoc» das Thema HBCDD entsprechend aktualisiert.

<sup>7</sup> Ermittlung von Schadstoffen und Angaben zur Entsorgung von Bauabfällen (PDF, 804 kB, 01.09.2020)

<sup>8</sup> [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/uv-umwelt-vollzug/entsorgungstabelle-bauabfaelle.pdf.download.pdf/modul\\_bauabfaelle\\_anhang3.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/uv-umwelt-vollzug/entsorgungstabelle-bauabfaelle.pdf.download.pdf/modul_bauabfaelle_anhang3.pdf)

<sup>9</sup> [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de#annex\\_1\\_1](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de#annex_1_1)

#### **4.1.2. Zuständige Akteure Vollzug**

Zuständig für den Vollzug der Abfallgesetzgebung sind die Kantone, für Baubewilligungen sind es die Gemeinden. Bauherr:innen müssen gemäss der angepassten «Entsorgungstabelle Bauabfälle» EPS in Entsorgungskonzepten thematisieren und entsprechend zurückbauen. Es liegt dann an den Gemeinden die Entsorgungskonzepte dahingehend anzupassen und zu kontrollieren.

#### **4.1.3. Kontrollen durch die Behörden**

Wie bisher erfolgt eine Kontrolle durch die Behörden bei der Dokumentenprüfung (Entsorgungskonzept) im Rahmen des Baubewilligungsprozesses. Zusätzlich bedarf es möglicherweise bei Einführung der stofflichen Verwertungspflicht stichprobenartigen Kontrollen bei rückbauenden und entsorgenden Unternehmungen.

#### **4.1.4. Wirkungsmodell**

Abbildung 3 zeigt das Wirkungsmodell auf dessen Basis die Wirkungsermittlung erfolgte. Wir untersuchten die Auswirkungen auf die Wirkungskriterien für beide Szenarien. Nicht-intendierte Wirkungen, orange in Abbildung 3, beinhalten, das Nichtbefolgen der Vorgabe (Non-Compliance), wodurch Wettbewerbsverzerrungen entstehen können, sowie die potenzielle Entstehung eines Monopols. Das Wirkungsmodell bildete den Ausgangspunkt für die Wirkungsermittlung auf die einzelnen Wirkungskriterien. Aufbauend auf dem Wirkungsmodell wurden je nach Wirkungskriterium verschiedene Methoden angewendet, um die Effekte zu identifizieren.

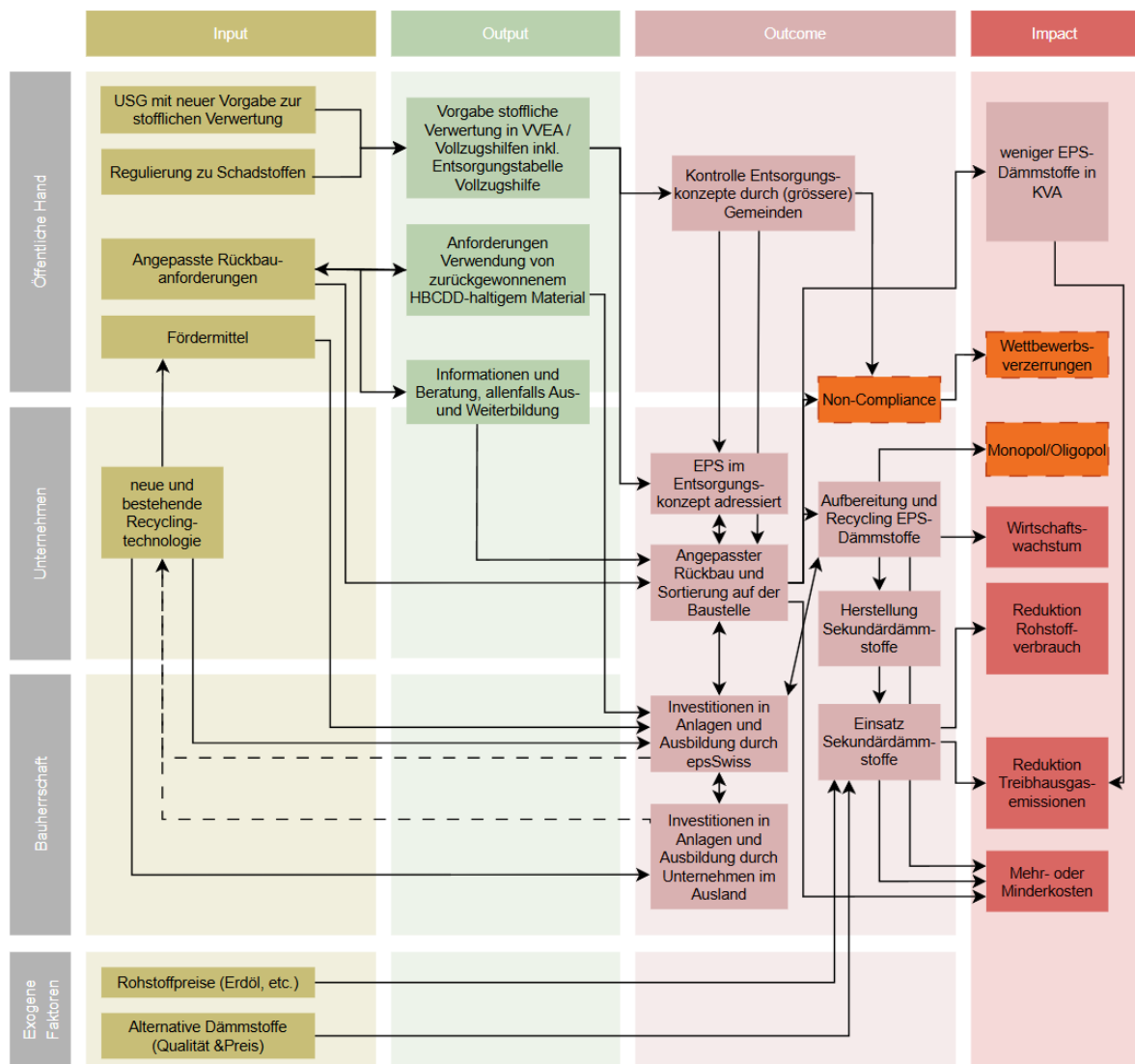


Abbildung 3: Wirkungsmodell, welches die Prozesse auf Ebene der öffentlichen Hand und der Akteure der Wirtschaft darstellt. Auch exogene Faktoren beeinflussen die Auswirkungen. Impacts werden für die Wirtschaft und die Umwelt erwartet. Mögliche nicht-intendierte Wirkungen sind in orange aufgeführt.

## 4.2. Auswirkungen auf Unternehmen (für M0 und M1)

Die Basis für die Analyse der Kosten bilden die zukünftigen Materialströme. Diese wurden anhand der Annahmen in Anhang A1 modelliert. Die Mengenströme wurden anschliessend mit den Kosten (siehe Anhang A.2) für die verschiedenen Prozesse, Technologien, resp. Szenarien verrechnet. Die Kostenschätzungen erfolgen auf Basis der Mengenströme, nicht auf Basis der Schätzungen zur Anzahl potenziell betroffener Unternehmen. Die Kostenberechnung wurde für minimale (min) und maximale (max) Kostenschätzungen durchgeführt.

### 4.2.1. M0: Auswirkungen auf die Unternehmen (W1)

#### *Welche Pflichten gelten im Null-Szenario?*

Im Null-Szenario gilt das revidierte USG, inkl. den Neuerungen basierend auf der Pa.lv. 20.433. Die stoffliche Verwertung wird gegenüber der energetischen Verwertung priorisiert. Der Grundsatz wird auch in der VVEA festgehalten werden. Eine generelle Pflicht zum EPS-Recycling lässt

sich daraus nicht ableiten. Aufgrund verschiedener Hürden und höherer Kosten wird das Recycling von EPS-Abfällen nicht in der Breite angewendet. Das EPS wird also primär weiterhin energetisch verwertet werden.

Grundsätzlich nehmen wir an, dass auch im Null-Szenario EPS rezykliert wird. Allerdings erst deutlich später und in wesentlich geringerem Umfang als im Untersuchungsszenario. Darin liegt der hauptsächliche Unterschied zum Untersuchungsszenario.

## 2032

Für die nahe Zukunft nehmen wir basierend auf diversen Gesprächen mit Akteur:innen in der Branche an, dass sich die Efforts zur stofflichen Verwertung in der Bauindustrie auf die massenmässig relevanteren Materialien wie Beton und Stahl konzentrieren werden. In Bezug auf die Kreislaufwirtschaft kommen zusätzlich einfach zu sammelnde und verwertende Produkte wie Abschnitte von z.B. Dämmstoffen, Rohren, Dachdichtungsbahnen etc. hinzu. Diese sind mit verhältnismässig wenig Aufwand und in guter Qualität zu sammeln (heute erfolgt dies in Säcken<sup>10</sup>). Speziell für EPS-Dämmstoffe plant die Alporit AG<sup>11</sup> ihre Bemühungen zum Recycling weiter zu verstärken und entsprechende Investitionen zu tätigen. Fokus der Bemühungen sind jedoch die Dämmstoffe, die kein HBCDD enthalten, also Abschnitte neuer EPS-Dämmstoffe, die beim Einbau anfallen. Zusätzlich wird Verpackungsmaterial aus anderen Quellen genutzt.

Ohne rechtliche Vorgabe gibt es keine Investitionssicherheiten für Anlagen zur HBCDD-Entfernung. Diese Anlagen lohnen sich erst, wenn grössere Mengen HBCDD entfernt und Skalenökonomien ausgenutzt werden können. Ohne genügend Material fürs Recycling lohnt es sich jedoch nicht, in die Entfernung des HBCDD zu investieren. Und ohne Anlagen gibt es kein Recycling und keine Abnehmer für das Rezyklat. Ohne Recycler, die das EPS annehmen, haben die Rückbauunternehmen wiederum wenig Interesse, EPS-Dämmungen sauber zurückzubauen. Auch besteht von dieser Seite her kein Anreiz, in die Entwicklung neuer Technologien zu investieren, die einen sauberen Rückbau sowie die Sortierung und Aufbereitung effizienter machen. Dieses Zusammenspiel von fehlenden Anreizen auf allen Ebenen verdeutlicht das bestehende Koordinationsproblem, das ohne eine klare staatliche Regulierung zeitnah kaum überwunden werden kann.

Betreffend Rückbau erwarten wir, dass die **Rückbauunternehmen** die jeweils günstigste Rückbaumethoden wählen werden. Meist ist dies der Rückbau mit der Baggerschaufel. Das geht schnell, erlaubt aber keine sortenreine Trennung der abgetragenen Materialien. Deshalb wird sämtliches rückgebautes EPS zusammen mit dem übrigen brennbaren Bauschutt durch die **Logistikunternehmen** in die **KVA** transportiert, wo es energetisch verwertet wird.

Aus den in Kapitel 2.2.2 erwähnten Gründen erwarten wir, dass die Baggerschaufel nur in 80% der Fälle zum Einsatz kommen wird. Das von Hand abgetragene EPS dürfte relativ sauber sein, womit eine Voraussetzung für ein Recycling gegeben wäre. Allerdings fehlen die Anlagen für die HBCDD-Entfernung. Deshalb geht das gesamte EPS aus dem Rückbau weiterhin in die KVA.

**Fazit: 2032 wird das rückgebaute EPS in der KVA energetisch verwertet. Zum grössten Teil wird mit der Baggerschaufel rückgebaut, was keine einfache sortenreine Trennung erlaubt. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für ein Recycling nicht gegeben.**

<sup>10</sup> <https://www.hgc.ch/de/recycling-pe-xps-eps-steinwolle-glaswolle>

<sup>11</sup> Gespräch mit Christian Röthenmund und Volker Brombacher, 15.08.2024

## 2040

Im Zeitraum zwischen 2032 und 2040 beginnen Recycler aus den folgenden Gründen, in Anlagen zur HBCDD-Entfernung zu investieren:

1. Aufgrund des Lebenszyklus der Gebäude steigt die Masse an rückgebautem EPS laufend an.
2. Gleichzeitig werden die **Rückbauunternehmen** seltener mit der Baggerschaufel rückbauen und öfter Rückbautechniken wählen, die es erlauben, das EPS ohne grössere Verschmutzungen von Kleberesten und Mörtel zurückzubauen. Sie werden neue Rückbaumethoden entwickeln müssen.
3. Die Nachfrage nach ökologischen Dämmstoffen steigt. EPS gilt aktuell noch als wenig ökologisch. So sind die EPS-Hersteller bemüht, ökologische Lösungen auf den Markt bringen zu können, um sich im Wettbewerb mit anderen Dämmstoffen behaupten zu können.

Für die Berechnung der Kosten nehmen wir an, dass 2040 nur noch 20 % der rückgebauten Dämmstoffe mit der Baggerschaufel abgetragen werden. 80 % werden von Hand oder mit neuen Technologien verhältnismässig sauber abgetragen. Aufgrund fehlender Kapazitäten bei den Recyclinganlagen ist die Nachfrage danach jedoch eingeschränkt, so dass es selten ganz separat gesammelt wird und trotzdem mit einer gemischten Mulde in der Sortierung oder der KVA landet. Das Sortieren von Bauschutt wird heute bereits von verschiedenen Unternehmen im Bereich Entsorgung und Recycling angeboten, wobei für den erforderlichen Sortierprozess nur Hightech-Anlagen in Frage kommen. Das Sortierunternehmen trennt das EPS vom übrigen Sperrgut. Die entsprechende Technologie ist aber noch nicht so weit fortgeschritten, wodurch nur ein geringer Anteil des EPS aussortiert werden kann, während der Rest zur KVA transportiert wird.

Insgesamt steigen die Transportwege, da das EPS nicht mehr nur von der Baustelle in die nächste KVA geliefert wird, sondern teilweise auch zu den Sortier- und Aufbereitungsanlagen oder den Recyclern. Gelangt das rückgebaute EPS in die Recyclinganlage, so wird das HBCDD entfernt, das Material rezykliert und als Sekundärmaterial zurück auf den Markt gebracht.

**Fazit: Zwischen 2032 und 2040 wird in Anlagen zur HBCDD-Entfernung investiert und Recyclinganlagen werden entsprechend aufgebaut. Die Kapazitäten sind 2040 aber noch zu gering, um sämtliches anfallendes EPS zu recyceln. Ein grosser Teil wird entsprechend immer noch direkt in die KVA gebracht. Bei Sortier- und Aufbereitungsunternehmen steigt die Nachfrage, wie auch bei den Logistikunternehmen.**

## 2055

Bis 2055 etablieren sich neuen Technologien, welche den sortenreinen Rückbau erleichtern auf dem Markt.

So nehmen wir an, dass die Rückbauunternehmen einen bedeutenden Anteil des EPS sauber abtrennen und direkt in die Aufbereitungsanlage liefern werden können. Die Sortieranlagen können dank verbesserter Technologie grössere Anteile EPS aus dem gemischten Bauabfall herausfiltern und ebenfalls an die Aufbereitungsanlage liefern. Jedoch sind die Kapazitäten der Anlagen noch nicht ausreichend, um die gesamte anfallende Menge an rückgebauten EPS zu verarbeiten. Wir gehen davon aus, dass nicht mehr alle zurückgewonnen EPS-Dämmstoffe aus Rückbau und Sanierungen mit HBCDD versetzt sind, da seit dem Verbot 40 Jahre vergangen sind.

**Fazit: 2055 wird der grösste Teil der EPS-Dämmungen direkt auf der Baustelle sauber abgetrennt und zur Aufbereitung geliefert, ein kleinerer Teil muss erst sortiert werden. Aufgrund fehlender Kapazitäten bei den Recyclinganlagen kann aber nicht das gesamte rückgebaute Material stofflich verwertet werden und ein beträchtlicher Teil geht weiterhin in die KVAs.**

#### *Kosten*

Die Kosten für den Rückbau tragen die Bauherr:innen. Die veränderten Anforderungen an den Rückbau steigern die Kosten. Gerade der händische Rückbau ist deutlich teurer als der Rückbau mit der Baggerschaufel. Im Anhang A2 beschreiben wir die Kosten der unterschiedlichen Rückbaumethoden im Vergleich. Zudem finden sich dort die getroffenen Annahmen, in welchem Verhältnis die Technologien eingesetzt werden.

Die beschriebenen Veränderungen während des Untersuchungszeitraums im Null-Szenario hätten jedoch auch einen positiven Nutzen. Die Rückbauunternehmen profitieren von einem grösseren Umsatz insofern sie die höheren Rückbaukosten an die Bauherr:innen weiterreichen können. Die Betreiber von Sortier-, Aufbereitungs-, Recycling- und HBCDD-Entfernungs-Anlagen profitieren von einer grösseren Nachfrage. Die Produzenten von EPS reduzieren ihre Abhängigkeit von (ausländischen) Beads-Produzenten.

#### **4.2.2. M1 - Auswirkungen auf die Unternehmen (W1)**

In diesem Kapitel untersuchen wir die Auswirkungen einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen auf die Unternehmen. Dabei wird zwischen zwei Unter-Szenarien unterschieden:

- Schnelle Umsetzung: die Umsetzung der Vorgabe erfolgt schnell, die technologische Entwicklung ist fortschrittlich, das Recycling ist zeitnah wirtschaftlich tragbar.
- Langsame Umsetzung: die Umsetzung erfolgt langsam, insbesondere weil die wirtschaftliche Tragbarkeit nicht gegeben ist.

In Tabelle A.1 in Anhang A1.1 sind die getroffenen Annahmen zu Rückbaupraktiken, Sortiereffizienzen sowie Recyclingeffizienzen detailliert aufgeführt.

#### *Welches wären die neuen Pflichten?*

Gemäss der überarbeiteten VVEA besteht die Pflicht, EPS von den übrigen Bauabfällen möglichst sortenrein zu trennen und der stofflichen Verwertung zuzuführen.

#### *Welche Unternehmen sind betroffen?*

Es sind die gleichen Unternehmen betroffen wie im Null-Szenario:

- Bauherr:innen (nicht zwingend Unternehmen)
- Rückbauunternehmen
- Sortierunternehmen
- Aufbereitungsunternehmen
- Recyclingunternehmen
- Logistikunternehmen
- KVA

### Wie viele Unternehmen sind wie häufig betroffen?

- Bauherr:innen: Es gibt keine exakten Zahlen zu privaten und öffentlichen Bauherr:innen. Einer ersten groben Schätzung nach dürften rund 3'000 Unternehmen als Gebäudeeigentümer:innen pro Jahr betroffen sein (die Schätzmethode beschreiben wir in Anhang A.3).
- Rückbauunternehmen: Die Zahl der Rückbauunternehmen lässt sich nicht präzise bestimmen, da der Rückbau oft kombiniert mit anderen Leistungen von Baufirmen angeboten wird, sich teilweise aber kleinere Firmen auf den Rückbau spezialisieren. Zudem sind die Rückbauunternehmen nicht in einem Verband organisiert. Eine grobe Internetrecherche ergab, dass es rund 70-150 Unternehmen gibt, die betroffen sein könnten.
- Recyclingunternehmen: Aktuell entwickelt in der Schweiz erst die Alporit AG ein Recycling von EPS mit HBCDD-Neutralisation. Mittelfristig könnte die Vorgabe jedoch zum Markteintritt weiterer Unternehmen führen.
- Logistikunternehmen: SPEDLOGSWISS, der Verband schweizerischer Speditions- und Logistikunternehmen, repräsentiert über 95 % der Speditionsbranche in der Schweiz und zählt 362 Mitgliedsfirmen. So ist mit rund 380 Unternehmen zu rechnen.<sup>12</sup>
- KVA, Sortierunternehmen und Aufbereitungsunternehmen: Laut dem Verband der Betreiber von Schweizer Abfallanlagen (VBSA) gibt es in der Schweiz 29 KVA und 16 Sortier- und Recyclinganlagen.<sup>13</sup>

Zusammengerechnet dürften rund 700 bis 3'700 Unternehmen betroffen sein – insofern sich die aufgeführten Gruppen nicht überlappen.

### Wie sind die Unternehmen betroffen?

Grundsätzlich erwarten wir, dass die Vorgabe dazu führt, dass schneller und in grösserem Umfang EPS-Dämmungen rezykliert werden als im Null-Szenario. Das heisst, dass die Verhaltensänderungen, die wir bereits im Null-Szenario beschrieben haben, durch die Vorgabe früher eintreten und stärker ausfallen. Wie anfangs des Kapitels beschrieben wird zusätzlich eine Unterscheidung zwischen schneller und langsamer Umsetzung gemacht.

- Die Recycling-Unternehmen investieren früher in die Anlagen für die HBCDD-Entfernung. Die Vorgabe gibt ihnen Sicherheit, dass genügend EPS-Rückbaumaterial zur Verfügung stehen wird, was ihre Investitionsbereitschaft deutlich erhöhen dürfte. Im Unter-Szenario «langsame Umsetzung» gehen wir davon aus, dass sich die Recyclingtechnologie 2040 noch in der Optimierungsphase befindet, bis 2055 werden die Kapazitäten jedoch drastisch erhöht. Im Vergleich dazu gehen wir für das Unter-Szenario «schnelle Umsetzung» davon aus, dass ein optimiertes Recycling bereits 2040 möglich ist.
- Die Rückbauunternehmen wechseln früher vom Rückbau mit der Baggerschaufel auf andere Methoden, die einen sortenreinen Rückbau erlauben. Eine Übersicht mit den Annahmen zu welcher Rückbaumethode für welches Unter-Szenario in welchem Jahr angewandt wird sowie detailliertere Erläuterungen dazu finden sich in Anhang A2.2. Zudem gehen wir davon aus, dass neue Rückbaumethoden entwickelt werden. Die Vorgabe gibt den Unternehmen einen Anreiz dies zu tun.
- Spätestens ab 2050 dürfte das Recycling zudem ökonomisch attraktiv werden, da die KVA dann flächendeckend ihre Emissionen mittels CCS auffangen müssen. Dies dürfte die thermische Verwertung via KVA deutlich teurer und das Recycling attraktiv machen. Diese Preisverschiebung könnte auch schon früher auftreten, wenn die Kapazitäten für CCS früher ausgebaut werden. Für unsere Analyse gehen wir aber von 2050 aus.

<sup>12</sup> <https://spedlogswiss.com/deCH/verband/>

<sup>13</sup> <https://vbsa.ch/ueber-uns>

- Die Sortierer investieren früher in die Sortierungsanlagen.

#### *Wie teuer ist die Erfüllung der Pflichten?*

Auf Basis der erhobenen Daten und Informationen aus den Fachgesprächen mit Rückbauunternehmen, Architekt:innen und Bauherrenberater:innen haben wir die Kosten geschätzt. Wie wir dabei konkret vorgegangen sind und welche Annahmen wir getroffen ist in Anhang A.2 beschrieben. Um die Schätzunsicherheit abzubilden, haben wir jeweils minimale bzw. maximale Kosten geschätzt.

Im Zeitraum bis 2032 entstünden durch die Vorgabe – im Vergleich zum Null-Szenario – zusätzliche Kosten von jährlich 18 bis 107 Mio. Franken für die Unternehmen (siehe Abbildung 6 in Abschnitt 5.1.1).

Ab 2040 erwarten wir jedoch grundsätzlich eine positive Kosten-Nutzen-Bilanz. Im Vergleich zum Null-Szenario ohne Vorgabe erwarten wir ab 2040 einen jährlichen Nutzen zwischen 1 Mio. bis 54 Mio. Franken. Ausnahme bildet das Szenario M1-langsam mit den maximalen Kostensätzen, für welches Kosten von 8 Mio. CHF anfallen. Ab 2055 läge der Nutzen zwischen 23 Mio. und 75 Mio. Franken jährlich.

Diese Resultate sind primär auf den getroffenen Annahmen zur Rückbauart und -technologie zurückzuführen, insbesondere dass ab 2040 der saubere Rückbau obligatorisch ist. Mit einer Vorgabe gibt es den Anreiz Rückbautechnologien weiterzuentwickeln und effizienter zu gestalten (mehr Automatisierung weniger manuelle Arbeit), wodurch die Kosten für den sauberen Rückbau pro Tonne EPS für die Szenarien M1 tiefer sind als für das Szenario M0.

Insgesamt betrachtet hätte die Vorgabe also einen positiven Nutzen. Vermutlich würden sich die Kosten und Nutzen jedoch nicht gleich auf alle Unternehmen verteilen. Inwieweit die einzelnen Marktakteure ihre Kosten an ihre Kund:innen durchreichen und die Gewinne bei sich behalten können, dürfte von ihrer Marktmacht abhängen. Eine Differenzierung zwischen einmaligen Anpassungskosten und den regelmässig anfallenden Kosten war uns nicht möglich.

#### **Sensitivität – Recycling im Ausland (erhöhte Transportdistanz)**

Nebst dem Recycling in der Schweiz wäre auch das Recycling im Ausland möglich. Als Extremfall wurde hier das Recycling in der Anlage von PSLoop in den Niederlanden modelliert.

Für die Transportdistanz von 1500 km sind die Veränderungen in Kosten in Tabelle 2 dargestellt. Die erhöhte Transportdistanz führt zu einer allgemeinen Erhöhung der Kosten für die stoffliche Verwertung. Ab 2040 würden bei schneller Umsetzung der Massnahme jedoch keine Zusatzkosten bei Transport bis in die Niederlande entstehen.

Tabelle 2: Änderungen der Kosten (Durchschnitt aus min und max) für das Untersuchungsszenario durch Recycling im Ausland im Vergleich zum Recycling in der Schweiz sowie Kostenvergleich zwischen Untersuchungsszenario und Null-Szenario bei Recycling im Ausland

| Zeithorizont | Unter-Szenario | Kostenvergleich zu M0 bei Recycling in der Schweiz | M1 | Kostenvergleich zu M0 bei Recycling im Ausland | M1 | Änderung der Kosten durch Recycling im Ausland |
|--------------|----------------|----------------------------------------------------|----|------------------------------------------------|----|------------------------------------------------|
| 2032         | M1 – langsam   | +14 %                                              |    | +15 %                                          |    | +1 %                                           |
|              | M1 – schnell   | +21 %                                              |    | +26 %                                          |    | +4 %                                           |
| 2040         | M1 – langsam   | -1 %                                               |    | +2 %                                           |    | +4 %                                           |
|              | M1 – schnell   | -9 %                                               |    | -3 %                                           |    | +7 %                                           |
| 2055         | M1 – langsam   | -6 %                                               |    | -3 %                                           |    | +7 %                                           |
|              | M1 – schnell   | -14 %                                              |    | -10 %                                          |    | +9 %                                           |

### 4.3. Auswirkungen auf das Klima (U1)

#### 4.3.1. Null-Szenario (M0):

Die Basis für die Analyse der Umweltauswirkungen bilden die zukünftigen Materialströme. Diese wurden anhand der Annahmen in Anhang A.1 modelliert. Die Resultate der Analyse des Null-Szenarios für die Auswirkungen auf den Klimawandel und gemäss der Methode der ökologischen Knappheit sind für die verschiedenen Zeithorizonte in Abbildung 4 dargestellt.

Die Produktion und energetische Verwertung tragen am stärksten zu den Umweltauswirkungen bei. Im Jahr 2055 sind insbesondere die Umweltwirkungen durch die energetische Verwertung stark reduziert. Es wird mehr EPS rezykliert, womit weniger EPS in die energetische Verbrennung gelangt, was zu einer Reduktion der Emissionen führt. Gekoppelt mit der Sequestrierung des CO<sub>2</sub> aus der Abluft der KVA ab 2050, sinken auch die Umweltwirkungen aus der Verbrennung des EPS merklich.

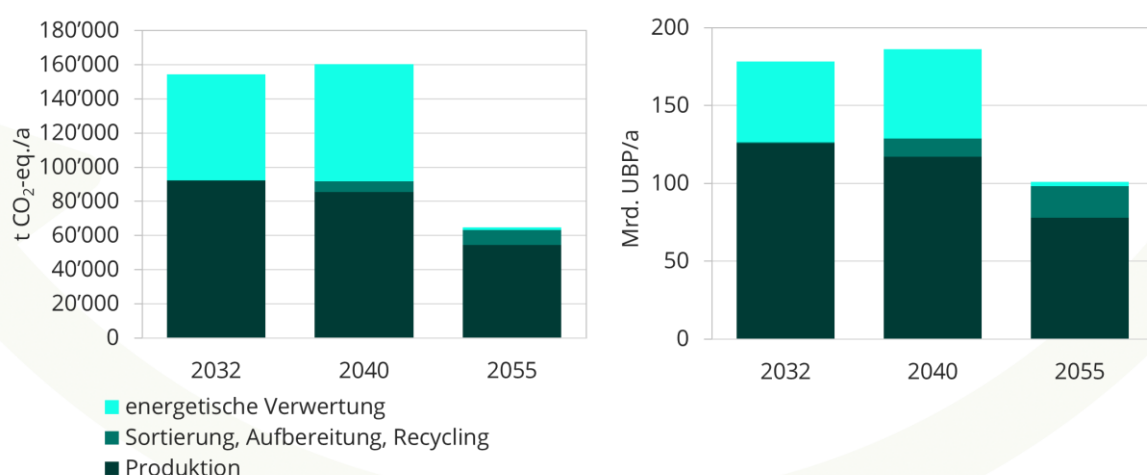


Abbildung 4: Jährliche Auswirkungen der EPS-Herstellung, -Verarbeitung und -Verwertung auf den Klimawandel (links) und gem. der Methode der ökologischen Knappheit (rechts) für das Null-Szenario M0 für alle drei Zeithorizonte.

### **Methode der ökologischen Knappheit**

Die Umweltwirkungen gemäss der Methode der ökologischen Knappheit sind durch die Treibhausgas-Emissionen dominiert, welche durch die Herstellung des erdölbasierten Materials, die für die Produktion verwendete Energie und durch die Verbrennung in der KVA entstehen. Weitere Umweltwirkungen wie Luftverschmutzung durch Feinstaub oder Schwermetalleintragung in den Boden tragen nur minimalst zur Umweltbelastung bei. Es wird deshalb auf die Darstellung der Methode der ökologischen Knappheit verzichtet. Die weiteren Resultate für diese Umweltwirkungen befinden sich im Anhang.

#### **4.3.2. Untersuchungsszenario (M1)**

##### ***Unterszenario M1 – langsame Umsetzung***

Für das Unterszenario «langsame Umsetzung» gehen wir davon aus, dass es zwar die Vorgabe zur stofflichen Verwertung gibt, die Umsetzung aber nur schleppend erfolgt. Basierend auf den Annahmen für die Materialströme gemäss Anhang A.1 ergeben sich die Auswirkungen der EPS-Herstellung, -Verarbeitung und -Verwertung auf den Klimawandel gemäss Abbildung 5 (links).

Der grösste Teil der Umweltwirkungen im Jahr **2032** entsteht durch die Produktion der Dämmstoffe und der Verbrennung in der KVA. Da die rezyklierten Mengen gering sind, entstehen nur wenige Umweltwirkungen durch Sortierung, Aufbereitung und Recycling.

**2040** wird ein Teil des primären Polystyrols durch sekundäres ersetzt, was zur Reduktion der Umweltbelastung durch die Produktion führt. Durch das Recycling wird ebenfalls weniger EPS der Verbrennung zugeführt, was wiederum diese Emissionen reduziert.

**2055** wird wiederum ein grösserer Teil des rückgebauten EPS rezykliert und als sekundärer Rohstoff in der EPS-Plattenproduktion eingesetzt. Dies verringert deren Umweltauswirkungen. Die Reduktion der Umweltauswirkungen bei der energetischen Verwertung lässt sich hauptsächlich auf die installierten CCS-Anlagen zurückführen. Natürlich hat auch die Menge an EPS in der energetischen Verwertung abgenommen. Die Umweltbelastung durch Sortierung, Aufbereitung und Recycling steigt an, jedoch in einem weit geringeren Mass als die Reduktion bei den anderen Prozessschritten, so dass die Gesamtumweltbelastung von 2040 auf 2055 stark sinkt.

##### ***Unterszenario M1 – schnelle Umsetzung***

Für das Unterszenario M1 – schnelle Umsetzung sind wir davon ausgegangen, dass die Massnahme wesentlich schneller umgesetzt wird.

Die Auswirkungen auf den Klimawandel für dieses Unterszenario für die verschiedenen Zeithorizonte sind in Abbildung 5 (rechts) dargestellt. Der grösste Teil der Umweltwirkungen im Jahr 2032 entsteht durch die Produktion der Dämmstoffe und der energetischen Verwertung. Die Umweltwirkungen der Sortierung, Aufbereitung und des Recyclings sind gering. Analog zum Unterszenario M1 – langsame Umsetzung nehmen die Umweltwirkungen 2040 und 2055 durch den Einsatz von sekundärem EPS, der reduzierten Emissionen der Verbrennung sowie der Sequestrierung des CO<sub>2</sub> ab 2050 ab.

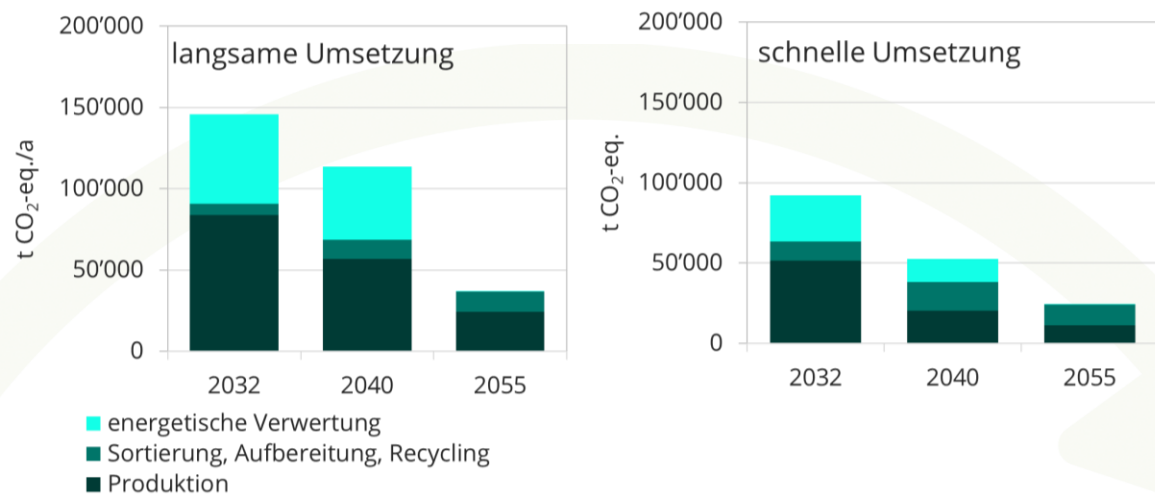


Abbildung 5: Jährliche Auswirkungen der EPS-Herstellung, -Verarbeitung und -Verwertung auf den Klimawandel für das Untersuchungsszenario M1 – langsame Umsetzung (links) und schnelle Umsetzung (rechts) – für alle drei Zeithorizonte.

### Sensitivität – Recycling im Ausland (erhöhte Transportdistanz)

Der mechanische Recyclingprozess zur Entfernung des HBCDD befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Es wäre aus diesem Grund denkbar, dass das gesammelte EPS nicht in der Schweiz, sondern im Ausland mit dem fortgeschritteneren CreaSolv®-Verfahren rezykliert würde. Um die Umweltwirkungen für diesen Fall zu bestimmen, wurde ein Transport mit einem LKW mit Verbrennermotor über eine Distanz von 1500 km (bis in die Niederlande, Standort Demonstrationsanlage) modelliert. Die dadurch entstandenen zusätzlichen Auswirkungen auf das Klima werden in Tabelle 3 dargestellt. Im Vergleich zum Recycling in der Schweiz entstehen 1 % bis 22 % mehr Treibhausgasemissionen, korrelierend mit der EPS-Menge, welche der stofflichen Verwertung zugeführt wird. Diese zusätzlichen Emissionen reduzieren die Einsparungen der Unterszenarien im Vergleich zum Null-Szenario um maximal 10 %. Würde der Transport mittels Elektrofahrzeugs erfolgen, wären die THG-Emissionen geringer (unter der Annahme, dass der Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt). Ebenso könnte der Transport effizienter gestaltet werden, wenn das EPS vorab verdichtet würde.

Tabelle 3: Auswirkungen einer erhöhten Transportdistanz auf die THG-Emissionen

| Zeithorizont | Unter-Szenario | Vergleich THG-Emissionen M1 zu M0 bei Recycling in der Schweiz | Vergleich THG-Emissionen M1 zu M0 bei Recycling im Ausland | Änderung der THG-Emissionen durch Recycling im Ausland |
|--------------|----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 2032         | M1 – langsam   | -6 %                                                           | -5%                                                        | +1 %                                                   |
|              | M1 – schnell   | -40 %                                                          | -39%                                                       | +3 %                                                   |
| 2040         | M1 – langsam   | -29 %                                                          | -28%                                                       | +3 %                                                   |
|              | M1 – schnell   | -67 %                                                          | -64%                                                       | +10 %                                                  |
| 2055         | M1 – langsam   | -43 %                                                          | -38%                                                       | +13 %                                                  |
|              | M1 – schnell   | - 62 %                                                         | -56 %                                                      | +22%                                                   |

Diese Distanz wurde als negativer Extremfall modelliert. Es ist unwahrscheinlich, dass ein Transport längerfristig so erfolgen würde, da es sich mit den prognostizierten Mengenströmen sicher

lohnenswert, eine Anlage mit dem CreaSolv®- Prozess oder einem anderen Verfahren im grenznahen Ausland oder in der Schweiz aufzubauen.

## Vergleich der Unterszenarien zum Null-Szenario

*Tabelle 4: Einsparungen an Tonnen CO<sub>2</sub>-eq. und externer Kosten durch die Monetarisierung der Treibhausmissionen der beiden Unterszenarien im Vergleich zum Null-Szenario. Diese Einsparungen erfolgen pro Jahr und sind gerundet.*

|             |            | Reduktion der THG-Emissionen für<br>M1 (im Vergleich zu M0) | Monetäre Einsparung (CHF) |
|-------------|------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>2032</b> | M1-langsam | 10'000                                                      | 3'710'000                 |
|             | M1-schnell | 60'000                                                      | 26'860'000                |
| <b>2040</b> | M1-langsam | 50'000                                                      | 20'020'000                |
|             | M1-schnell | 110'000                                                     | 46'230'000                |
| <b>2055</b> | M1-langsam | 30'000                                                      | 11'860'000                |
|             | M1-schnell | 40'000                                                      | 17'260'000                |

Die Auswirkungen auf das Klima reduzieren sich auch im Null-Szenario über den betrachteten Zeithorizont. Die Reduktionen sind jedoch beim Untersuchungsszenario für beide Unterszenarien deutlich höher. Im Mittel können 2032 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. jährlich eingespart werden. 2040 sind es 80'000 t CO<sub>2</sub>-eq und 2055 wieder 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. Die damit eingesparten externen Kosten sind in Tabelle 4 aufgezeigt. Die Kostenberechnung wurde mit dem zentralen Wert von CHF 430 / t CO<sub>2</sub>-eq. gemäss Klimakostensatzberechnung 2021 berechnet (Ecoplan / INFRAS, 2024) wie im VOB-Leitfaden empfohlen.

## 4.4. Sonstige Auswirkungen

### 4.4.1. Null-Szenario: sonstige Auswirkungen

#### *W6 Innovation, Forschung*

Ohne Vorgabe zur stofflichen Verwertung, wird in erster Linie die Optimierung des Recyclings ohne HBCDD weiterentwickelt und Investitionen dafür getätigt. Wie bereits beschrieben entstehen davon unabhängig Anreize, in die Entwicklung neuer Technologien für den Rückbau zu investieren.

#### *U3 Natürliche Produktionsfaktoren*

Da wenig rückgebautes EPS rezykliert wird, steht primär nur rezykliertes EPS aus Verpackungen und Abschnitten zur Verfügung. Entsprechend gross ist der Bedarf an Primärmaterial. Eine Schonung dieser Ressource tritt damit nur mit Verzögerung ein.

#### *U2 Natürliche Vielfalt*

Der Rückbau erfolgt in diesem Szenario häufiger mit der Baggerschaufel. Durch unsorgfältige Rückbauweise gelangen so EPS-Perlen in die Umwelt. Die EPS-Perlen sind sehr leicht und können durch Wind verteilt werden. Je nach Alter des rückgebauten EPS gelangt so nicht nur Kunststoff, sondern auch der Schadstoff HBCDD in die Umwelt.

#### *W4 Öffentliche Hand*

Im Null-Szenario entsteht kein zusätzlicher Aufwand für die Öffentliche Hand. Grundsätzlich sollte die EPS-Situation im Auge behalten werden: Sobald die Rahmenbedingungen gemäss USG

erfüllt sind, soll die stoffliche Verwertung eingefordert werden. Zudem kann die Öffentliche Hand als Eigentümerin von Liegenschaften bei Bauprojekten mit gesteigerten Rückbaukosten konfrontiert sein.

#### *Z1 Regionen*

Direkt gibt es im Null-Szenario keine Auswirkungen auf die unterschiedlichen Regionen. In Abhängigkeit davon, wo die Infrastrukturen entstehen, wird die stoffliche Verwertung in gewissen Regionen wohl schneller wirtschaftlich tragbar, weil die Transportkosten geringer sind.

### **4.4.2. Untersuchungsszenario: sonstige Auswirkungen**

#### *W6 Innovation, Forschung*

Im Vergleich zum Null-Szenario bestehen deutlich grössere Innovationsanreize. Sowohl Rückbau als auch Sortierung und Recycling müssen verbessert werden. Gerade im Rückbau sind bereits Ansätze vorhanden. Wir erwarten, dass es für diese einfacher sein wird, an die notwendigen Investitionen zu kommen, wenn die Vorgabe einen so klaren Anwendungsbereich vorgibt, und damit die Innovation weitergetrieben wird. Wahrscheinlich ist auch, dass weitere Unternehmen die Vorgabe nutzen wollen und ihre eigenen Werkzeuge dafür entwickeln. Da die optimale Rückbaumethode auch von der Gegebenheit der Baustellen abhängig bleibt, ist wahrscheinlich, dass sich nicht eine Technologie flächendeckend durchsetzt, sondern unterschiedliche angewendet werden. Damit gibt es viel Platz für Forschung und Innovation.

Zusätzlich werden analytische Methoden zur einfacheren Bestimmung des HBCDD-Gehalts – ob das Material HBCDD-haltig ist und wenn ja in welcher Konzentration – relevant, so dass auch diese verstärkt erforscht werden. Dabei ist nicht nur relevant, ob HBCDD vorhanden ist, sondern voraussichtlich auch, in welcher Konzentration es vorliegt. Die aktuelle Gaschromatografiemethode funktioniert zuverlässig, benötigt aber mehr Zeit als was für einen wirtschaftlichen Prozess optimal ist. Zudem kann sie beispielsweise nicht vor Ort auf der Baustelle durchgeführt werden, da spezifische Ausrüstung notwendig ist. Hier könnte die Forschung noch unterstützend eingreifen. Wie notwendig diese Messung jedoch ist, wird von den tatsächlichen Recyclinganlagen abhängen.

#### *W5 Gesamtwirtschaft – Wettbewerb*

Die EPS-Hersteller in der Schweiz bzw. die Betreiber einer Recyclinganlage dürften die Hauptprofiteure der Vorgabe zur stofflichen Verwertung sein. Allerdings müsste das Recycling nicht zwingend in der Schweiz erfolgen. Wie schon erwähnt, sind auch im Ausland Unternehmen aktiv hinsichtlich EPS-Recycling inkl. einer Anlage, die mit HBCDD-belastetem Material umgehen kann. Damit könnten die Schweizer Firmen ihr Material fürs Recycling exportieren, was ein Monopol theoretisch verhindert. Für den grenzüberschreitenden Verkehr von kontaminiertem Abfall, unter welcher rückgebautes EPS fallen würde, gibt es allerdings zusätzliche Regulierungen. Damit wird die Logistik für diese Variante aufwendiger. Dazu kommen höhere Transportkosten für die voraussichtlich längeren Distanzen. Ob die ausländischen Anlagen somit eine Konkurrenz darstellen würden, ist schwierig zu sagen. Es besteht folglich ein Risiko für ein Monopol. Auch das Risiko für ein Oligopol ist vorhanden, wenn es zwar mehrere Recycling anbietende gibt, diese aber der restlichen Wertschöpfungskette Rahmenbedingungen diktieren können.

Jedoch sind die Eintrittsbarrieren gering. Es bedarf lediglich der notwendigen Investitionen in die Entfernungs- und Recyclinganlagen. Sobald der Markt ausreichend gross ist, dürfte es sich für mehr als ein Unternehmen lohnen, diese Investitionen zu tätigen. So ist es denkbar, dass es in der Schweiz zu weiteren Markteintritten kommt und ein gesunder Wettbewerb entsteht.

Verzerrungen des Wettbewerbs könnten auch entstehen, wenn sich nur ein Teil der Unternehmen an die Vorgaben hält oder wenn die Vorgabe durch die zuständigen Behörden nicht vollzogen bzw. deren Umsetzung nicht kontrolliert würde. Diese non-compliance ist indirekt in dem Unterszenario «langsame Umsetzung» berücksichtigt und mitunter ein Grund, wieso die technologischen Entwicklungen und der Aufbau notwendiger Kapazitäten langsamer erfolgen. Diese Verzerrungen sollten jedoch verschwinden, wenn die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses sich verbessert.

Durch die Verwendung von Rezyklat in den EPS-Dämmstoffen, kann das schlechte Image der Kunststoff-Dämmstoffe allenfalls etwas reduziert werden. Dadurch kommen andere als nachhaltig geltende Dämmstoffe (z.B. aus Hanf, Papier, etc.) etwas unter Druck, was wiederum den Wettbewerb innerhalb der Dämmstoffbranche ankurbeln kann. Zudem kann durch das Recycling die Abhängigkeit von Primärmaterial reduziert werden. Damit steigt die Versorgungssicherheit, insbesondere wenn der Recyclingprozess in der Schweiz durchgeführt wird.

### *U3 Natürliche Produktionsfaktoren*

Im Vergleich zum Null-Szenario wird durch das bessere Recycling der Ressourcenverbrauch weiter reduziert. Im Mittel können mit der Massnahme 2032 7'000 t, 2040 13'000 t und 2055 10'000 t Primärmaterial eingespart werden. Im besten Fall (M1 – schnelle Umsetzung 2055) kann der gesamte Bedarf an PS-Beads für die EPS-Produktion des Schweizer Bedarfs mit rPS gedeckt werden. Zusätzlich könnte sogar ein Teil des XPS-Bedarfs aus rezykliertem Styrol gedeckt werden. Während auch ohne Massnahme der Ressourcenverbrauch sinkt, so ist die Reduktion deutlicher mit der Vorgabe.

### *U2 Natürliche Vielfalt*

Der Rückbau erfolgt in diesem Szenario vermehrt sorgfältig. Dadurch gelangt weniger HBCDD-belasteter Kunststoff in die Umwelt. Da durch die Massnahme weniger Primärkunststoff produziert werden muss, sinkt auch die Belastung der natürlichen Vielfalt am Erdölförder- und Aufbereitungsort des Kunststoffs.

### *W4 Öffentliche Hand*

Mit der vorgeschlagenen Massnahme kommen zusätzliche Aufgaben auf gewisse Instanzen der öffentlichen Hand zu. Dies wird zusätzliche Ressourcen benötigen. Eine genaue Abschätzung der Zusatzaufwände konnte im Rahmen dieser Studie nicht gemacht werden. Dies ist auch stark abhängig, wie der Prozess des Baubewilligungsverfahrens und damit der Entsorgungskonzepte heute schon geregelt ist. Dies ist kantonale und teilweise kommunale unterschiedlich. Grundsätzlich müssen die zuständigen Stellen der öffentlichen Hand Baubewilligungen hinsichtlich der EPS-Verwertung überprüft werden. Optimalerweise werden nicht nur die Dokumente geprüft, sondern mittels Stichprobenkontrolle auch die tatsächliche Umsetzung der stofflichen Verwertung auf der Baustelle überprüft. Mit solchen Kontrollen wird die Umsetzung voraussichtlich beschleunigt. Sie erfordern aber natürlich deutlich mehr Ressourcen als die Dokumentenprüfung.

### *Z1 Regionen*

Im Vergleich zum Null-Szenario erwarten wir, dass es tendenziell mehr Anlagen zum Recycling von EPS und zur Entfernung des HBCDD geben wird. In der Folge reduzieren sich die Transportwege und die regionalen Unterschiede in den Transportkosten sinken.

## 5. Synthese / Folgerungen

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen einer Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen auf die Wirtschaft und Umwelt präsentiert. Weiter gehen wir auf die RFA-Prüfpunkte sowie den Beitrag zur Agenda 2030 ein und diskutieren Optimierungsmöglichkeiten und Grenzen der vorliegenden VOB-Studie.

### 5.1. Bilanz der Wirkungen

#### 5.1.1. Auswirkungen auf die Unternehmen

Die durch die Vorgabe notwendigen Anpassungen der Rückbau- und Aufbereitungsarten würden zu einer Erhöhung der Rückbau- und Sortierungskosten führen. Diese Kosten wären insbesondere von der Bauherrschaft zu tragen. Die Kosten für Rückbau, Sortierung, Aufbereitung und Recycling belaufen sich gemäss Berechnungen auf 170 bis 260 Mio. CHF pro Jahr (exkl. Produktionskosten). Dies entspricht schätzungsweise<sup>14</sup> einer Zunahme der Baukosten von 0.7 % bis 1.1 %.<sup>15</sup>

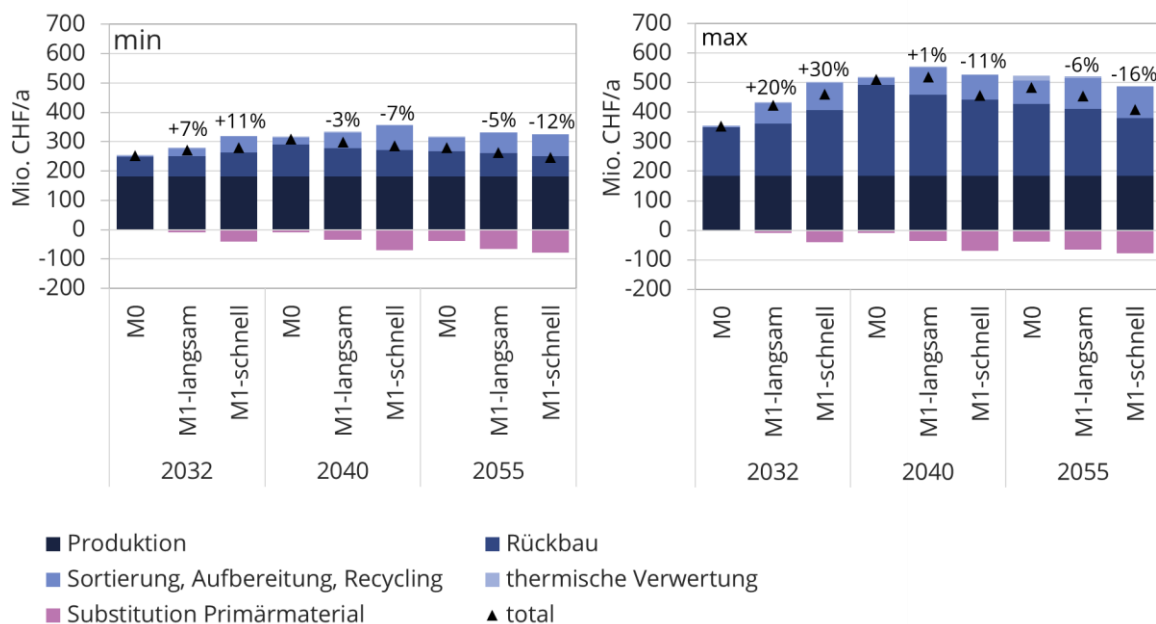


Abbildung 6: Vergleich der Kosten (für die verschiedenen Szenarien und Zeithorizonte pro Jahr). Die linke Abbildung zeigt die minimalen Kosten und die rechte die maximalen. Einkünfte durch Verkauf oder Einsatz von Recyclingmaterial werden negativ dargestellt. Die totalen Netto-Wirkungen werden durch das schwarze Dreieck dargestellt. Die prozentualen Veränderungen beziehen sich dabei auf die totalen Netto-Wirkungen.

<sup>14</sup> Im Jahr 2024 erwirtschaftete die Baubranche einen Umsatz von rund 23.4 Milliarden Franken (Statista GmbH, 2025). Vereinfacht kann der Umsatz mit Baukosten gleichgesetzt werden.

<sup>15</sup> Als Vergleich: Die befragten Fachpersonen (Architekt:innen und Bauherr:innen-Berater:innen) gaben an, dass die Rückbaukosten insgesamt nur einen kleinen Teil der Baukosten ausmachen. Sie schätzten die Rückbaukosten insgesamt auf rund 1 % der Baukosten.

Recycling-, Sortier- und Rückbauunternehmen dürften von einem höheren Umsatz profitieren (siehe Abschnitt 5.2.3). 2032 würde die Vorgabe im Szenario M1-langsam und M1-schnell zu zusätzlichen Kosten im Vergleich zum Null-Szenario (M0) führen (siehe Abbildung 6). Zur Abbildung der Schätzungenauigkeit geben wir je minimale (links in Abbildung 6) und maximale (rechts) Kostenschätzungen an.

Ab 2040 sind die Kosten im Null-Szenario im Durchschnitt höher als in den Untersuchungsszenarien. Der entscheidende Faktor war die Annahme zum obligatorischen sauberen Rückbau ab 2040. Es werden neue Technologien für den sauberen Rückbau benötigt. Diese Technologien sind in den Untersuchungsszenarien bereits weiterentwickelt und deshalb kosteneffizienter als im Null-Szenario. Entsprechend sind die totalen Rückbaukosten in den Untersuchungsszenarien geringer als im Null-Szenario. Weiter muss durch das erhöhte Recycling in den Untersuchungsszenarien weniger Primärmaterial eingekauft werden. Dies ist in Abbildung 6 in lila abgebildet. Das schwarze Dreieck zeigt in Abbildung 6 die Gesamtkosten an. 2040 zeigt sich vor allem für die schnelle Umsetzung eine relevante Kostensenkung von 7 % bis 11%. 2055 fallen die Kosten.

### **5.1.2. Auswirkungen auf das Klima**

Die Vorgabe wirkt sich positiv auf das Klima aus. Das Recycling führt dazu, dass vermehrt sekundäres PS produziert und eingesetzt wird, wodurch weniger Treibhausgase durch die Produktion von primärem PS und weniger Emissionen durch die energetische Verwertung der EPS-Dämmstoffe emittiert werden. Zwar ist auch im Null-Szenario, also ohne Vorgabe, zu erwarten, dass EPS-Dämmstoffe vermehrt rezykliert werden. Gemäss unseren Modellierungen wäre dies jedoch erst ab 2055 der Fall. Mit der in dieser Studie untersuchten Massnahme würde ein verstärktes Recycling bereits 2040 grosses Treibhausgaseinsparpotenzial aufweisen (siehe Abbildung 7). Dies ist entscheidend, da ab 2040 der grösste Teil des HBCDD-belasteten EPS aus dem Bestand zurückkommt.

Im Mittel können 2032 gegenüber dem Null-Szenario 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. jährlich eingespart werden. 2040 sind es 80'000 t CO<sub>2</sub>-eq. und 2055 wieder 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. Die damit eingesparten externen Kosten sind in Tabelle 4 in Kapitel 4.3.2 aufgezeigt.

Die Einsparungen setzen sich jeweils aus den rezyklierten Abschnitten sowie den rezyklierten Dämmstoffen aus dem Rückbau zusammen. Die mittleren Einsparungen an Treibhausgasemissionen durch die Verwertung der Abschnitte belaufen sich auf 1'200 (2032), 1'100 (2040) resp. 250 (2055) t CO<sub>2</sub>-eq., was maximal 4 % der gesamten gemittelten Einsparungen ausmacht.

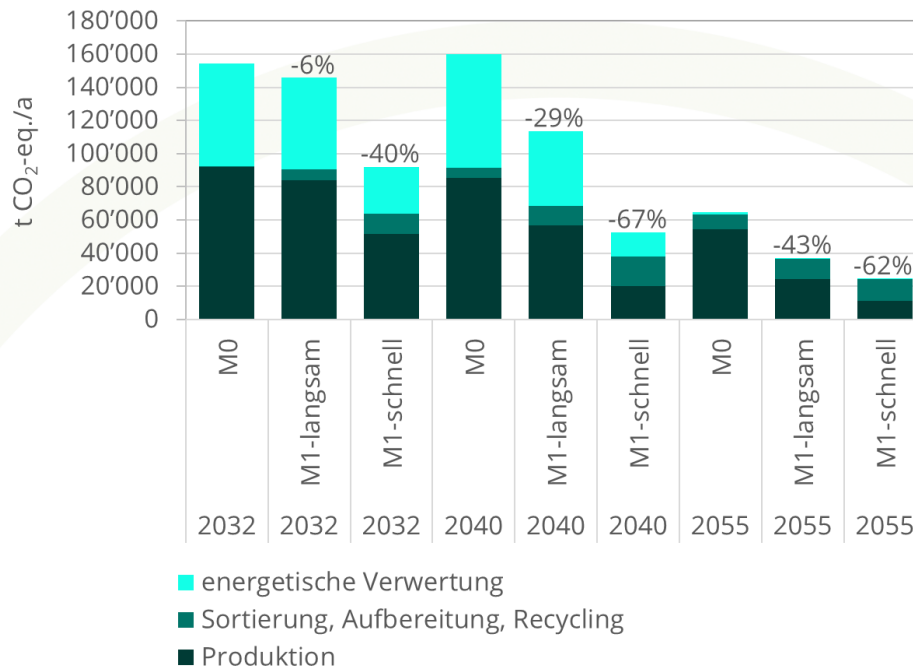


Abbildung 7: Vergleich der jährlichen Auswirkungen auf den Klimawandel mit und ohne Massnahme, sowie für die beiden Unterszenarien langsame und schnelle Umsetzung

### 5.1.2.1. Sonstige Auswirkungen

Gesamtübergreifend über die sonstigen Auswirkungen verstärkt sich die positive Bilanz des Untersuchungsszenarios. Durch die reduzierte Primärproduktion von EPS-Dämmstoffen wird die Belastung auf die natürlichen Produktionsfaktoren und auf die natürliche Vielfalt reduziert.

Durch die Vorgabe würde zudem ein stärkerer Anreiz hinsichtlich Innovation gesetzt. Das Recycling würde die Abhängigkeit vom Ausland und von Primärmaterialimporten reduzieren und dadurch die Versorgungssicherheit erhöhen.

Durch die geringe Eintrittsbarriere in den Recyclingmarkt (im Wesentlichen ist nur Kapital nötig) kann die Vorgabe zur stofflichen Verwertung deshalb zu einer Förderung des Wettbewerbs führen. Letztlich dürfte dies von der Marktgrösse abhängen. Ist der Markt gross genug, dass weitere Unternehmen Skalenökonomien in der Produktion ausnutzen können, werden weitere Marktspieler den Markt betreten.

Einen möglichen Zusatzaufwand kann es durch die Vorgabe für die öffentliche Hand geben, die für den Vollzug verantwortlich wäre.

### 5.1.3. Bilanz

In der folgenden Tabelle stellen wir die Auswirkungen auf das Klima und die Auswirkungen auf die Unternehmen gegenüber. Dafür wurden die externen Kosten, die durch die Emission von

Treibhausgasemissionen entstehen, monetarisiert.<sup>16</sup> Die Tabelle zeigt die Auswirkungen jeweils im Vergleich zum Null-Szenario. So zeigt sich, dass im Zeitraum 2032 bis 2040 die Bilanz noch negativ ist. Im Vergleich zum Null-Szenario entstehen den Unternehmen zusätzliche Kosten von jährlich 18 bis 107 Mio. Franken. Zwar werden die externen Kosten, die durch THG-Emissionen entstehen, um jährlich 4 Mio. bis 27 Mio. Franken reduziert. Das ist jedoch nicht genug, um die Kosten der Unternehmen zu kompensieren.

Ab 2040 erwarten wir jedoch eine positive Kosten-Nutzen-Bilanz. Im Vergleich zum Null-Szenario ohne Vorgabe erwarten wir ab 2040 unter Berücksichtigung der externen Kosten für die THG-Emissionen Einsparungen zwischen 12 und 100 Mio. CHF. Ab 2055 läge der Nutzen bei 27 Mio. bis 93 Mio. Franken jährlich.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum erwarten wir demnach eine klar positive Kosten-Nutzen-Bilanz.

*Tabelle 5: Monetäre Auswirkungen in Mio. CHF der Untersuchungsszenarien im Vergleich zum Null-Szenario (M0). Aufgezeigt werden die Kosten, welche den Unternehmungen entstehen, die externen Kosten der Treibhausgas-Emissionen (monetarisiert), welche eingespart werden, und die Kosten-Nutzen-Bilanz anhand der totalen Kosten für die Unternehmen (Unternehmenskosten plus externe Kosten). Negative Werte bedeuten, dass diese Beträge eingespart werden. Diese Auswirkungen gelten pro Jahr und sind gerundet.*

|             |            | Unternehmen (Differenz Kosten im Vergleich zu M0) |     | Klima (Differenz externe Kosten im Vergleich zu M0) | Total Kosten |      |
|-------------|------------|---------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------|--------------|------|
|             |            | min                                               | max |                                                     | min          | max  |
| <b>2032</b> | M1-langsam | 18                                                | 70  | -4                                                  | 14           | 66   |
|             | M1-schnell | 27                                                | 107 | -27                                                 | 0            | 80   |
| <b>2040</b> | M1-langsam | -10                                               | 8   | - 20                                                | - 30         | -12  |
|             | M1-schnell | -23                                               | -54 | -46                                                 | - 69         | -100 |
| <b>2055</b> | M1-langsam | -15                                               | -30 | -12                                                 | - 27         | -42  |
|             | M1-schnell | -32                                               | -76 | -17                                                 | - 49         | -93  |

## 5.2. Effektivität, Effizienz und Verteilungswirkungen

### 5.2.1. Effektivität

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen, dass eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen grundsätzlich effektiv wäre. 2040 beträgt die prognostizierte mittlere Reduktion der Treibhausgasemissionen des Untersuchungsszenarios im Vergleich zum Null-Szenario 48 %. 2055 ist die mittlere Reduktion 52 %.

### 5.2.2. Effizienz

Die Ergebnisse unserer Analysen zeigen zudem, dass die Effizienz einer Vorgabe zum EPS-Dämmstoff-Recycling über die Zeit zunimmt und ab 2040 der Nutzen gegenüber den Kosten überwiegt. Durch die Vorgabe wird die Entwicklung von effizienten Technologien gefördert, was

<sup>16</sup> Wir haben mit einem Kostensatz von 430 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub>-eq. gemäss EcoPlan / INF-RAS 2024 gerechnet.

dazu führt, dass der Rückbau in den Untersuchungsszenarien günstiger wird als im Null-Szenario. Zudem können THG-Emissionen reduziert werden und damit die externen Kosten, die sich aus den Emissionen ergeben.

So erwarten wir 2032 noch eine negative Kosten-Nutzen-Bilanz von gemittelt 56 Mio. Franken pro Jahr. Ab 2040 wird die Kosten-Nutzen-Bilanz positiv. Statt Kosten entstehen Nutzen von gemittelt 20 Mio. Franken pro Jahr (2040) resp. 38 Mio. Franken pro Jahr (2055). Der positive Nutzen, welcher ab 2040 erzielt wird, dürfte ausreichen, die Kosten zu kompensieren, die vor 2040 entstehen.

Unter dem Vorbehalt, dass die hier vorgenommenen Schätzungen mit grossen Unsicherheiten verbunden sind (siehe Abschnitt 5.5.1), lässt sich die untersuchte Regulierung als hochgradig effizient beschreiben.

### **5.2.3. Verteilungswirkungen**

Die beschriebenen Kosten und Nutzen der untersuchten Vorgabe verteilen sich nicht gleichmässig über die betroffenen Akteursgruppen. Während die Allgemeinheit von den reduzierten Treibhausgasemissionen profitiert, erwarten wir, dass für Sortierung, Aufbereitung und Recycling der grösste Teil der Kosten anfallen wird. Der Rückbau wird in der Übergangsphase bis 2040 teurer sein als ohne Massnahme, wegen schnelleren Entwicklungen der Technologien. Die Rückbau- und Sortierunternehmen werden die zusätzlichen Kosten wahrscheinlich an die Bauherr:innen weitergeben können. Da der Rückbau jedoch meistens einen geringen Anteil an den Gesamtbaukosten ausmacht und davon der Rückbau und die Entsorgung des Dämmmaterials noch einen geringeren, schätzen wir basierend auf Expert:innenaussagen den finanziellen Mehraufwand seitens Bauherrschaft als zumutbar ein.

Die EPS-Dämmstoffe-produzierenden Unternehmen profitieren von der Unabhängigkeit von primär PS-Produzenten und schwankenden Rohstoffpreisen.

## **5.3. Würdigung der Ergebnisse**

Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen ergaben unsere Analysen, dass die Massnahme sehr positiv gewertet werden kann. Es werden nicht nur die Treibhausgasemissionen stark gesenkt, auch die Kosten nehmen mittelfristig ab. Die in dieser Studie untersuchten Massnahme kann folglich einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastungen durch den Bausektor leisten ohne längerfristigen gravierende Kostenfolgen für die Unternehmen.

Die Verteilung der Kosten ist allerdings nicht symmetrisch; die Kosten für angepasste Rückbautechnik und Aufbereitung der Dämmstoffe würden wohl zu Lasten der Bauherrschaft fallen, währenddem Recycling-Unternehmen von einem höheren Umsatz profitieren würden. Im Vergleich mit den Gesamtkosten eines Rückbaus oder sogar Bauprojektes sind die Kosten für Rückbau und Aufbereitung der Dämmstoffe jedoch vernachlässigbar.

Diese Ergebnisse stehen jedoch im Licht grosser Unsicherheiten. Die Analyse stützt sich in wichtigen Punkten auf Annahmen, welche die Realität bzw. zukünftigen Entwicklungen möglicherweise nicht präzise abbilden. In Abschnitt 5.5.1 gehen wir auf diese Unsicherheiten ein.

Nachfolgend gehen wir noch auf die Wirkungen hinsichtlich der Agenda 2030 ein und beurteilen die Massnahme bezüglich der RFA-Prüfpunkte.

### 5.3.1. SDGs

Die Sustainable Development Goals (SDGs) der UN umfassen 17 Ziele, welche die ökonomische, ökologische und nachhaltige Entwicklung bis 2030 (Agenda 2030) global sichern sollen. Die in dieser VOB-Studie untersuchte Massnahme, resp. deren Wirkung, tangieren speziell die Ziele 8, 9, 11, 12, 13, 14 und 15.

- **Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (SDG 8):** Durch die angepasste Rückbauweise sowie zusätzliche Aufbereitungsprozesse können Arbeitsplätze im Bereich ressourceneffizientes Handeln geschaffen werden. Zudem werden langfristig durch Effizienzsteigerung in den Aufbereitungsprozessen die Kosten gesenkt und das wirtschaftliche Wachstum gefördert.
- **Industrie, Innovation und Infrastruktur (SDG 9):** Die Massnahme trägt zur Unterstützung der Entwicklung nachhaltiger Infrastrukturen bei und fördert Innovationen in der Bauindustrie.
- **Nachhaltige Städte (SDG 11):** Der verbesserte Umgang mit EPS-Dämmmaterialien, trägt dazu bei, nachhaltige urbane Räume zu schaffen.
- **Verantwortungsvoller Konsum und Produktion (SDG 12):** Die Massnahme trägt zur Implementierung von Kreislaufwirtschaftsmodellen in der Bauindustrie bei. Durch die Förderung von Recycling werden Sekundärrohstoffe vermehrt eingesetzt. Das Recycling reduziert nicht nur Abfall, sondern senkt auch die Umweltbelastung durch den Einsatz von Rezyklaten in der Produktion bzw. durch die Vermeidung der Produktion von Primärkunststoffen.
- **Massnahmen zum Klimaschutz (SDG 13):** Durch das Recycling von EPS wird der Bedarf an neuen EPS-Perlen sowie die Mengen an verbrannten EPS-Dämmstoffen verringert, was zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führt.
- **Leben unter Wasser und Leben an Land (SDG 14 und 15):** Durch einen sorgfältigen Rückbau und Abtransport der EPS-Dämmstoffe wird das Risiko minimiert, dass diese in die Umwelt gelangen. Dies schützt aquatische und terrestrische Ökosysteme vor Plastikverschmutzung und dem Schadstoff HBCDD. Zudem wird der notwendige Abbau von Primärmaterial verringert, wovon die Ökosysteme vor Ort profitieren.

### 5.3.2. RFA Prüfpunkte

#### RFA Prüfpunkt 1: Staatlicher Handlungsbedarf:

Der Handlungsbedarf ergibt sich aus der aktuellen Praxis der energetischen Verwertung von EPS-Dämmstoffen, die hohe THG-Emissionen verursacht und keine nachhaltige Lösung darstellt. Besonders im Zeitraum zwischen 2040 und 2055 wird der grösste Teil der HBCDD-belasteten EPS-Dämmstoffe zurückgebaut, was eine rechtzeitige Entwicklung und Implementierung von Recyclinglösungen erforderlich macht. Ohne eine rechtliche Vorgabe bleiben voraussichtlich die ökonomischen Anreize für Recycling unzureichend, da ein Koordinationsproblem besteht: Recycler investieren nicht in notwendige Anlagen, wenn keine ausreichenden Mengen an sortenreinem Rezyklat verfügbar sind. Gleichzeitig verzichten Rückbauunternehmen auf einen sauberen Rückbau, da die kostengünstige Entsorgung in der KVA weiterhin attraktiv bleibt. Eine klare Vorgabe kann dieses Problem lösen und den Kreislauf schliessen. In diesem Kontext verweisen wir auf Abschnitt 1.3.

#### RFA Prüfpunkt 2: Alternative Massnahmen:

In Abschnitt 2.4 des Berichts werden verschiedene alternative Instrumente betrachtet.

#### RFA Prüfpunkt 3: Auswirkungen auf gesellschaftliche Gruppen:

Obwohl die Vorgabe mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, insbesondere für Sortierung und Recycling, können diese teilweise durch die Substitution von Primärmaterial mit Rezyklat und die Reduktion von Treibhausgasemissionen ab 2040 teilweise kompensiert werden. Die Kosten und Nutzen verteilen sich jedoch ungleichmässig: Während die Allgemeinheit von den reduzierten Emissionen profitiert, werden sich Kosten und Nutzen nicht gleichmässig auf die Unternehmen verteilen. Dennoch wird der finanzielle Mehraufwand als zumutbar eingeschätzt, da er im Vergleich zu den Gesamtkosten eines Bauprojekts gering ist (im Bereich von rund 1%).

#### **RFA Prüfpunkt 4: Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaft und Umwelt**

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen effektiv ist und die Emissionen bis 2040 um 48 % und bis 2055 um 52 % im Vergleich zum Null-Szenario gesenkt werden können.

#### **RFA Prüfpunkt 5: Zweckmässigkeit im Vollzug:**

Die Vorgabe zur stofflichen Verwertung von EPS-Dämmstoffen ist grundsätzlich zweckmässig. Sie ist in Anlehnung an den bestehenden Art. 20 VVEA ausgestaltet und schafft einen rechtlichen Rahmen und bewahrt gleichzeitig einen gewissen Spielraum, welcher der Entwicklung des Stands der Technik und der Infrastruktur und Prozesse Rechnung trägt. So müssten EPS-Dämmstoffe möglichst vollständig verwertet werden. Es bestünde aber keine absolute Pflicht, EPS-Dämmstoffe zu verwerten und die Verbrennung bliebe grundsätzlich weiterhin möglich (bei Beton ist die Ablagerung weiterhin möglich, trotz der «Verwertungspflicht»).

Eine Herausforderung besteht jedoch in der Kontrolle der Massnahme durch die zuständigen Stellen in den Kantonen. Um sicherzustellen, dass die Vorgabe flächendeckend eingehalten wird, sind begleitende Informationsmassnahmen sowie klare Anforderungen an Entsorgungskonzepte notwendig. Stichprobenartige Kontrollen könnten zudem dazu beitragen, die Umsetzung effizient zu gewährleisten.

## **5.4. Empfehlungen und Optimierungsmöglichkeiten**

### **5.4.1. Empfehlungen**

Durch die untersuchte Massnahme könnten die Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus von EPS-Dämmungen im Vergleich zum Null-Szenario reduziert werden. Die jährlichen Einsparungen liegen im bei 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2032, 80'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2040 und wieder bei 35'000 t CO<sub>2</sub>-eq. im Jahr 2055. Das ökologische Potenzial ist somit relevant, aber nicht riesig<sup>17</sup>. Allerdings ist die Massnahme sehr kosteneffizient. Um dieses Potenzial zielführend auszuschöpfen, müssten sich die betroffenen Wirtschaftsakteure vorbereiten, damit die notwendigen Kapazitäten und Technologien vorhanden sind, um die ab 2040 anfallenden EPS-Mengen verarbeiten zu können.

Es gibt jedoch einige Gründe, die uns zögern lassen, die Umsetzung der in dieser Studie untersuchten Massnahme grundsätzlich zu empfehlen. Insbesondere relevant sind dabei die folgenden Unsicherheiten in den getroffenen Annahmen zu den Rückbaukosten sowie hinsichtlich der technologischen Entwicklungen im Bereich des Rückbaus, der Aufbereitung und Sortierung sowie der Recyclingtechnologien.

<sup>17</sup> Beispielsweise wird mit dem PET-Recycling jährlich 126'000 t CO<sub>2</sub>-eq. eingespart (petrecycling.ch, 26.03.2025)

- Für die Kosteneffizienz entscheidend war die Annahme, dass zeitnah der Rückbau auch ohne die hier untersuchte Massnahme angepasst wird, insb. zur Vermeidung der Verfrachtung von schadstoffbelastetem EPS in die Umwelt. Wird diese Umstellung nicht vorgenommen, hat dies negative Auswirkungen auf den Kostenvergleich; die Massnahme wird dann teurer. Branchenvertreter:innen gehen jedoch davon aus, dass die Kostensteigerungen im Vergleich zu den Gesamtkosten des Bauprojektes (inkl. Neubau) gering bis vernachlässigbar sind.
- Der Stand der heutigen Recyclingtechnologien stellt eine weitere wesentliche Herausforderung dar, denn bestehende Recyclingprozesse für die Entfernung des HBCDDs entsprechen nicht oder nur teilweise den Anforderungen des Stands der Technik gemäss VVEA. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es den CreaSolv®-Prozess, welcher HBCDD-belastetes EPS technisch zuverlässig rezykliert. Gemäss aktueller Kommunikation der Betreibenden einer bestehenden Anlage ist diese momentan jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Betrieb. Ein Verfahren zum mechanischen Recycling inklusive Reduktion der HBCDD-Konzentration befindet sich in Entwicklung. Eine Vorgabe zur stofflichen Verwertung könnte hier Investitionssicherheit schaffen. Andererseits können auch Probleme auftreten, wenn die Massnahme eingeführt wird, bevor der Stand der Technik für die Recyclingtechnologien erreicht wird. Eine solche Situation sieht man aktuell beispielsweise beim Phosphorrecycling. 2016 wurde eine Verordnungsbestimmung eingeführt, dass ab 2026 Phosphor aus Abwasser, Klärschlamm und Asche zurückgewonnen und stofflich verwertet werden muss. Die Entwicklung von Verfahren und der Bau von Anlagen erwies sich jedoch als schleppend. Dieses Risiko besteht aktuell auch bei einer Vorgabe für die stoffliche Verwertung von EPS-Dämmstoffen. 2024 hat das Parlament die Vorgabe für das Phosphor-Recycling im Umweltschutzgesetz präzisiert.
- Technologien zur Sortierung und Aufbereitung der Dämmmaterialien (insb. Entfernung von Verunreinigungen) existieren, jedoch fehlt die Wirtschaftlichkeit bei der Anwendung auf EPS-Dämmstoffe, resp. der finanzielle Anreiz oder regulatorische Druck dafür. Hinzu kommen Herausforderung bei der Logistik. EPS-Dämmstoffe sind sehr leicht und voluminös, wodurch der Transport teuer werden kann. All diese Herausforderungen können dazu beitragen, dass die notwendigen Prozessschritte bis zum Recycling als nicht wirtschaftlich tragbar abgefertigt werden, so dass auch mit rechtlicher Vorgabe das Material nicht beim Recycler landet.

Eine weitere Herausforderung für die Vorgabe zur stofflichen Verwertung betrifft die Verantwortung und den Kontrollmechanismus. Es bleibt unklar, wer letztendlich dafür verantwortlich wäre, dass das Dämmmaterial rezykliert wird; eine Kontrolle ist nahezu ausschliesslich bei der KVA möglich. Auch bleibt unklar, wie mit möglichen Schlupflöchern bezüglich Verunreinigungen umgegangen werden soll. Eine Vorgabe darüber, wer wie Verunreinigungen entfernen muss, erscheint uns nicht zielführend, da verschiedene Bauunternehmen unterschiedliche Möglichkeiten haben (von eigenen Anlagen bis hin zur Übergabe des Materials an einen Aufbereiter). Zudem ist dies auch von der Situation auf der Baustelle abhängig; bei genügend Platz kann ein sauberer Rückbau mit direkter Trennung zielführend sein, bei eingeschränkten Platzverhältnissen macht möglicherweise die externe Sortierung und Aufbereitung mehr Sinn. Es bleibt offen, ob Recycler durch Vorgaben genügend Anreize hätten, selbst eine Aufbereitung aufzubauen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Vorgabe grundsätzlich sinnvoll wäre, da sie kosteneffizient zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führen kann. Dennoch bestehen

gewisse Unsicherheiten und offene Punkte. Insbesondere ist die Technologie für das Recycling mit HBCDD-Entfernung gegenwärtig noch nicht vollständig ausgereift. Deshalb empfehlen wir dem BAFU, mit der Umsetzung der Massnahme zuzuwarten und in einem ersten Schritt den intensiven Austausch mit der Branche zu suchen, nicht nur mit den Recyclinganbietenden, sondern allen Akteur:innen entlang der Prozesskette. Dieser ist einerseits von grosser Bedeutung, um festzustellen, welche Fortschritte in den kommenden Jahren erfolgen und damit abzuleiten, wo zusätzlicher Handlungsbedarf durch regulatorische Vorgaben besteht. Andererseits kann so gezielt ermittelt werden, wie der Bund am effizientesten zum Abbau der Hürden beitragen kann. Zudem sollten Abklärungen zum Vertiefungsbedarf gemäss Kapitel 5.5.2 durchgeführt werden. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob analog zu Genf eine Regelung für den sauberen Rückbau von EPS-Dämmungen eingeführt werden sollte.

In etwa fünf Jahren sollte die Situation nochmals evaluiert werden, hinsichtlich technologischer Fortschritte, Marktentwicklungen, kantonalen Grenzwerten für graue Energie sowie alternativen Instrumenten, wie die erweiterte Herstellerverantwortung. Zeichnet sich ab, dass die Branche bis 2040 nicht bereit ist für die stoffliche Verwertung der grösseren Mengen an rückgebauten EPS-Dämmstoffen, sollte die Umsetzung der rechtlichen Vorgabe angegangen werden.

#### **5.4.2. Optimierungsmöglichkeiten**

Soll die rechtliche Vorgabe umgesetzt werden, könnte in folgenden Bereichen Optimierungspotenzial bestehen:

- Bagatellgrenze: Die stoffliche Verwertung von rückgebauten EPS-Dämmstoffen wird erst ab einer gewissen Grenze (z.B. Gebäudegrösse) vorgegeben.
- Auslastung Recyclingkapazitäten: Zur Optimierung der Kapazitäten von Recyclinganlagen können Verpackungen aus EPS sowie Abschnitte von XPS unterstützen. Gegebenenfalls helfen begleitende Massnahmen, dieses Synergiepotenzial auszuschöpfen.
- XPS: Falls Probenahmen ergeben, dass beim Rückbau von XPS keine oder nur wenig (H)FCKW mehr enthalten sind, sollte die Berücksichtigung von XPS in der Vorgabe geprüft werden.
- Monopole: Ein Risiko der Massnahme ist die anfängliche Monopolstellung der einzigen Recycler, wodurch sie Lieferbedingungen und Kosten diktieren könnten. Gegebenenfalls können nachteilige Effekte davon durch begleitende Massnahmen durch den Staat verhindert werden.
- Übergangsfrist: Gegebenenfalls lohnt es sich, kürzere Übergangsfristen für die stoffliche Verwertung der EPS-Abschnitte, wo keine technologischen Hürden vorhanden sind, vorzugeben im Vergleich zur Übergangsfrist für das rückgebaute Material.

Wir empfehlen ein Augenmerk auf diese Faktoren zu haben, sollte die Umsetzung der rechtlichen Vorgabe angegangen werden. Erste vertieftere Gedanken dazu, wie sie während unserer Studie aufgekommen sind, finden sich in Anhang A.4.

### **5.5. Grenzen der vorliegenden VOB, Vertiefungsbedarf**

#### **5.5.1. Grenzen**

Die Ergebnisse der Wirkungsanalyse basieren auf den Annahmen, welche wir für die Modellierungen getroffen haben. Für all diese Annahmen bestehen Unsicherheiten, welche sich in den Resultaten fortpflanzen. Im Umfang dieser Studie war eine detaillierte Betrachtung der

Sensitivität der verschiedenen Annahmen nicht möglich. Unsere Resultate und Schlussfolgerungen sind folglich im Rahmen unserer getroffenen Annahmen gültig:

- Der Bewertung der ökonomischen und ökologischen Wirkung liegen Annahmen zu den Mengenströmen zu Grunde. Diese Annahmen gem. Anhang basieren auf bestehenden Studien (Heeren & Hellweg, 2019; Kulakovskaya et al., 2023; Wiprächtiger et al., 2020) und wurden für die vorliegende Studie aktualisiert und überarbeitet. Die modellierten Mengen an ein- und rückgebauten EPS-Dämmstoffen weichen in den oben erwähnten Studien (Heeren & Hellweg, 2019; Kulakovskaya et al., 2023; Wiprächtiger et al., 2020) von der Studie von Jakob et al. (2016) ab. Dies ist auf die verschiedenen Modellansätze zurückzuführen. Der grösste Unterschied ist bei den rückgebauten Mengen feststellbar. Die für diese Studie vorgenommene dynamische Modellierung der Materialflüsse berücksichtigt nicht die Aufdopplung (Hinzufügen einer neuen Schicht Dämmung auf eine bestehende) der Dämmungen, sondern geht von einer durchschnittlichen Lebensdauer der Dämmstoffe von 40 Jahren aus. Durch die Aufdopplung verweilen gewisse Dämmstoffe jedoch länger im Gebäudepark. Dies widerspiegelt sich in den Differenzen in den rückgebauten Mengen an EPS-Dämmstoffen. Die Auswirkungen der verschiedenen Modellierungen zeigen sich, wenn, dann im Zeitpunkt, zu welchem die grösseren Mengen an Dämmstoffen rückgebaut werden. Mit der konservativeren Modellierung von Jakob et al. (2016), würde das EPS tendenziell später rückgebaut.
- Die Ergebnisse der ökonomischen Analyse sind geprägt von der Annahme, dass der sorgfältige Rückbau von EPS-Dämmstoffen kurz- bis mittelfristig sowieso umgesetzt werden muss, damit die Verteilung von EPS-Perlen in der Umwelt während des Rückbaus vermieden werden kann. Diese Annahme führt zu einem Anstieg der Kosten im Null-Szenario für die Zeithorizonte 2040 und 2055. Durch diesen angenommenen Anstieg werden die Kosten des Null-Szenarios höher als die der Massnahmenszenarien. Sollte diese Annahme nicht zutreffen, würden die Kosten für die Unternehmen höher ausfallen als hier dargestellt. Diese Annahme beeinflusst jedoch die Auswirkungen auf das Klima nur geringfügig. Dort entscheidender sind die tatsächlichen Mengen, welche der stofflichen Verwertung zugeführt werden.
- Weiter mussten Annahmen zur Art und zum Anteil der Rückbaupraktiken für die verschiedenen Szenarien getroffen werden. Diese basieren auf den aktuellen technischen Möglichkeiten, beinhalten jedoch auch Prognosen künftiger technologischer Entwicklungen. Solche Abschätzungen sind immer mit Unsicherheiten behaftet, da unklar ist, welche Technologien sich durchsetzen und wie schnell diese verfügbar sein werden. Ähnlich verhält es sich bei den Kostenschätzungen: Sie stützen sich auf heutige Erkenntnisse und Schätzungen, bleiben aber aufgrund fehlender präziser Daten zur technologischen Entwicklung und Marktentwicklung insgesamt sehr grob.
- Zudem wurde für die ökologische und ökonomische Wirkungsanalyse mit vereinfachten Annahmen für die Logistik gearbeitet: es wurde angenommen, dass das Recycling entweder in der Schweiz (in Boswil bei der alporit AG) oder in den Niederlanden bei PSLoop geschieht. Es wurden keine Detailbetrachtungen zu Art des Lkws oder Gebinde gemacht.

### 5.5.2. Vertiefungsbedarf

Aus den getroffenen Annahmen lassen sich verschiedene Aspekte ableiten, welche vertiefter zu untersuchen wären.

### *Entwicklung der Technologien*

Das technologische Potenzial und dessen Entwicklungen konnten nur grob abgeschätzt werden. Die technologischen Entwicklungen sind aber noch nicht abgeschlossen. Hier braucht es mehr Grundlagen- und angewandte Forschung.

### *Kosten der Prozessschritte*

Die tatsächlichen Kosten für den angepassten Rückbau, die gezielte Sortierung und Aufbereitung müssen genauer erhoben werden. Dies ist wohl zum aktuellen Zeitpunkt nur bedingt möglich, da sich diese Prozesse abhängig von technologischen Entwicklungen unterschiedlich etablieren können. Durch die vorher erwähnte Grundlagen- und angewandte Forschung gibt es möglicherweise auch hilfreiche Informationen hierzu.

### *Ermittlung der Anzahl betroffener Unternehmen*

Im Rahmen der Studie konnten wir die Anzahl betroffener Unternehmen nur grob schätzen. Wir empfehlen auf Basis von amtlichen Statistiken und Registerdaten (GWR, Gebäudeprogramm) diese Schätzung zu präzisieren. Durch Fachgespräche - bspw. mit grossen Immobilien-eigentümer:innen, Rückbau-Unternehmen und sonstigen Fachleuten - können diese Schätzungen validiert werden.

### *Logistik bei der Rückführung von EPS-Dämmstoffen*

Oft genannte Faktoren, welche nicht vertieft untersucht wurden, sind Herausforderungen hinsichtlich der Logistik. Eine erste Herausforderung ist die Sammlung auf der Baustelle. EPS weist eine sehr geringe Dichte auf und braucht daher viel Platz und muss windsicher gelagert werden, damit sich die Perlen nicht in der Umwelt verteilen. Die Lkws, welche die neue Dämmung anliefern, für den Rücktransport des alten EPS zu nutzen, ist oft nicht möglich, da die Rückbaumulden nicht in die Lkws passen. Die Dämmstoffe müssten also in anderen Gebinden gesammelt werden oder der Transport erfolgt über andere Fahrzeuge. Auch der benötigte Lagerplatz bei den Zwischenschritten stellt eine Herausforderung dar. Wie eine mögliche Verdichtung die Prozesse beeinflusst, müsste noch untersucht werden.

### *Umgang mit XPS*

Die untersuchte Massnahme bezog sich nur auf EPS aufgrund möglicher (H)FCKW-Emissionen durch rückgebaute XPS-Dämmstoffe. Falls vertiefte Untersuchungen ergeben, dass die XPS-Dämmstoffe weitgehend ausgegast sind, könnte geprüft werden, ob XPS in die Vorgabe eingeschlossen werden soll.

Während der Einsatz von EPS in den letzten Jahren abnahm, wurde stetig mehr XPS vor allem für die Perimeterdämmung eingesetzt. Für die Menge an XPS, welches der Verwertung zugeführt wird, ist entscheidend, ob und nach welchem Zeitraum die Perimeterdämmung ersetzt wird. Aktuell bleibt Perimeterdämmung deutlich länger in Gebäuden als Fassadendämmungen. Aus diversen Gesprächen mit Akteur:innen aus der Bauindustrie geht zudem hervor, dass immer mehr auch auf den Erhalt bestehender Bauten gesetzt wird. Dabei bleibt die Perimeterdämmung normalerweise im Boden, während Fassadendämmungen durchaus ausgetauscht werden. Es ist entsprechend anzunehmen, dass weniger XPS ausgebaut wird. Genauere Mengenangaben müssten in einer vertiefteren Analyse eruiert werden.

### *Alternative Dämmstoffe*

In dieser Studie wurden ausschliesslich die Auswirkungen der Vorgabe zur stofflichen Verwertung auf Dämmstoffe aus expandiertem Polystyrol untersucht. Das Recycling von anderen,

beispielsweise mineralischen Dämmstoffen, resp. der Einsatz oder sogar Ersatz von EPS (und XPS) mit potenziell ökologischeren Dämmstoffen wurden nicht untersucht. Mit einer Vorgabe spezifisch für EPS -Dämmstoffe besteht die Gefahr, einen Lock-In für Kunststoff-basierte Dämmstoffe zu kreieren und so die vermehrte Anwendung oder den Markteintritt von Dämmstoffen mit potenziell geringeren Umweltwirkungen zu erschweren

#### *Nutzen einer Bagatellschwelle*

Ob eine solche Schwelle zielführend ist, müsste zusätzlich untersucht werden. Sie bietet aber eine gewisse Chance, dass der zusätzliche Aufwand auch dort anfällt, wo er sich lohnt. Gegebenenfalls geschieht dies aber auch schon indirekt über die wirtschaftliche Tragbarkeit und ist damit nicht nötig.

Mit diesen detaillierteren Analysen könnten die Empfehlungen zur Umsetzung der rechtlichen Vorgaben verbessert werden, um das ökologische Potenzial eines EPS-Dämmstoffkreislaufs besser zu nutzen.

## Literaturverzeichnis

- EcoHeatDynamics (2024). Thermocut. <https://www.ecoheatdynamics.ch/technik>
- GreenMAX. (2024). *Italy EPS Recycling*. <https://www.greenmax-machine.com/italy-eps-recycling-airpol.html>
- Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum. (2024). *EPSolutely - Epsolutely*. <https://epsolutely.at/>
- Heller, N. (2022). Entwicklung und Bewertung von Entsorgungsstrategien für Wärmedämmverbundsysteme mit expandiertem Polystyrol. Shaker Verlag.
- Heeren, N., & Hellweg, S. (2019). Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12739>
- HIRSCH Porozell Germany. (2024). *HIRSCH:Reuse | Styropor Recycling | Wir recyceln Baustyropor!* <https://www.hirsch-porozell.de/reuse-styropor-recycling/>
- Jakob, M., Rubli, S., & Sunarjo, B. (2016). *Dämmmaterialien im Gebäudepark der Schweiz - Eine Bestandesaufnahme*. [https://www.tep-energy.ch/docs/de\\_en/p0707\\_Daemmmaterialien-im-Gebaeudepark-der-Schweiz---Bestandesaufnahme\\_Schlussbericht.pdf](https://www.tep-energy.ch/docs/de_en/p0707_Daemmmaterialien-im-Gebaeudepark-der-Schweiz---Bestandesaufnahme_Schlussbericht.pdf)
- Kulakovskaya, A., Wiprächtiger, M., Knoeri, C., & Bening, C. R. (2023). Integrated environmental-economic circular economy assessment: Application to the case of expanded polystyrene. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107069. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2023.107069>
- Lublasser, E., Hildebrand, L., Vollpracht, A., & Brell-Cokcan, S. (2017). Robot assisted deconstruction of multi-layered façade constructions on the example of external thermal insulation composite systems. *Construction robotics*, 1, 39-47.
- Müller, E., Hilty, L. M., Widmer, R., Schluep, M., & Faulstich, M. (2014). Modeling Metal Stocks and Flows: A Review of Dynamic Material Flow Analysis Methods. *Environmental Science & Technology*, 48(4), 2102–2113. <https://doi.org/10.1021/es403506a>
- Statista GmbH. (2025, March 20). *Schweiz - Umsatz Hoch- und Tiefbau 2024*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/301703/umfrage/bautaetigkeit-im-bauhauptgewerbe-der-schweiz/>
- Swiss Life Asset Managers (2024) Immobilienbericht 2022/2023. [https://ch.swisslife-am.com/content/dam/slam/documents\\_publications/investment\\_foundation/de/l/d\\_ast\\_sl\\_jb\\_2022\\_2023\\_immobilienbericht.pdf](https://ch.swisslife-am.com/content/dam/slam/documents_publications/investment_foundation/de/l/d_ast_sl_jb_2022_2023_immobilienbericht.pdf)
- Verband Schweizer Plastic Recycler. (2024). *Sammelsysteme für gemischte Kunststoffabfälle - Monitoringbericht 2023*. <https://plasticrecycler.ch/qualitaetssicherung/>
- Wiprächtiger, M., Haupt, M., Heeren, N., Waser, E., & Hellweg, S. (2020). A framework for sustainable and circular system design: Development and application on thermal insulation materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104631. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104631>
- Wüst und Partner (2015). Studie «Verbaute Dämmungen EPS/XPS». Zusammenfassender Bericht. [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/externe-studien-berichte/verbaute\\_daemmungenepsxps.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/externe-studien-berichte/verbaute_daemmungenepsxps.pdf).

## Abkürzungsverzeichnis / Glossar

|                      |                                                                                        |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| BAFU                 | Bundesamt für Umwelt                                                                   |
| BFS                  | Bundesamt für Statistik                                                                |
| CBAM                 | Carbon Border Adjustment Mechanism                                                     |
| CHF                  | Schweizer Franken                                                                      |
| CO <sub>2</sub> -eq. | CO <sub>2</sub> -Äquivalente                                                           |
| CSDDD                | Corporate Sustainability Due Diligence Directive                                       |
| CSRD                 | Corporate Sustainability Reporting Directive                                           |
| EnDK                 | Energiedirektorenkonferenz                                                             |
| EnG                  | Energiegesetz                                                                          |
| EPS                  | Expandiertes Polystyrol                                                                |
| HBCDD                | Hexabromcyclododecan                                                                   |
| (H)FCKW              | (teilhalogenierte) Fluorchlorkohlenwasserstoffe                                        |
| GWP                  | Global Warming Potential                                                               |
| IPCC                 | Intergovernmental Panel on Climate Change                                              |
| KVA                  | Kehrichtverwertungsanlage                                                              |
| LCA                  | Life Cycle Assessment, Ökobilanz                                                       |
| LPAmb                | Legge federale sulla protezione dell'ambiente                                          |
| LPE                  | Loi fédérale sur la protection de l'environnement                                      |
| MFA                  | Materialflussanalyse                                                                   |
| M0                   | Null-Szenario                                                                          |
| M1                   | Untersuchungsszenario                                                                  |
| Mio.                 | Millionen                                                                              |
| MuKE                 | Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich                                       |
| OLED                 | Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets) |
| OPSR                 | Ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti (Ordinanza sui rifiuti)       |
| Pa.lv.               | Parlamentarische Initiative                                                            |
| PSE                  | Polystyrène expansé                                                                    |
| RFA                  | Regulierungsfolgenabschätzung                                                          |
| SDG                  | Sustainable Development Goal                                                           |
| t                    | Tonnen                                                                                 |
| THG                  | Treibhausgase                                                                          |
| USG                  | Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz)                                |
| VBSA                 | Verband der Betreiber von Schweizer Abfallanlagen                                      |
| VVEA                 | Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung)      |
| VOBU                 | Volkswirtschaftliche Beurteilung von Umweltmassnahmen                                  |
| OFEV                 | Office fédéral de l'environnement                                                      |
| UFAM                 | Ufficio federale dell'ambiente                                                         |
| FOEN                 | Federal Office for the Environment                                                     |
| XPS                  | Extrudiertes Polystyrol                                                                |

## Anhang

### A.1 Ökologische Wirkungsanalyse

#### A.1.1 Annahmen zur Modellierung der Materialflüsse

##### A.1.1.1 System

Abbildung A.1 gibt eine schematische Übersicht über die Modellierung des Systems. Die Tabelle A.1 gibt eine Übersicht über die Annahmen zu wie viel Material (Abschnitte und Rückbau) in welchem Schritt in die stoffliche Verwertung geführt wird. Die Grafik veranschaulicht auf welche Materialflüsse die Zahlen in der Tabelle sich beziehen.

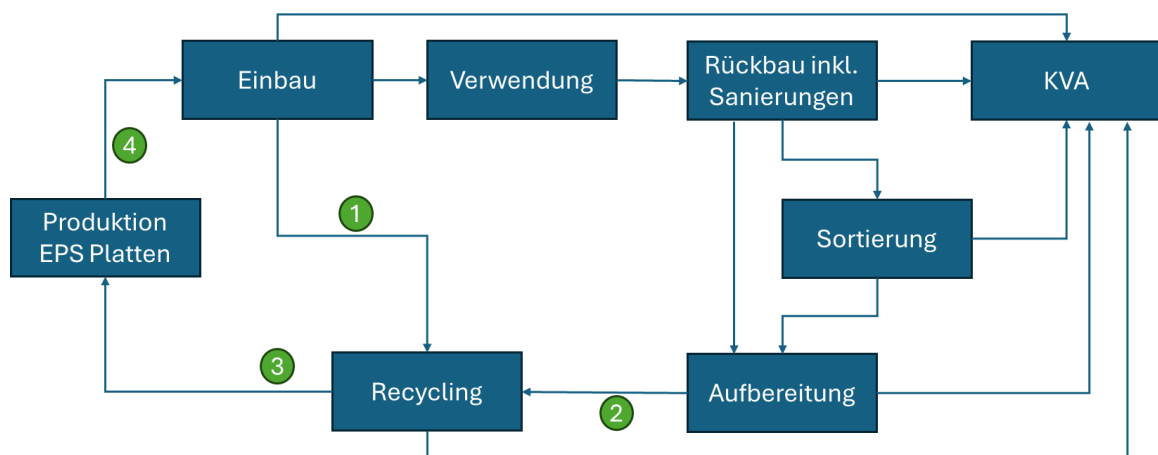


Abbildung A.1: Schematische Darstellung des modellierten Systems. Die grünen Kreise mit den Zahlen zeigen, wo Annahmen getroffen werden mussten.

#### A1.1.2 Modellierung der Szenarien

Tabelle A.1: Übersicht über die Annahmen für die verschiedenen Szenarien

| Prozess-schritt | 2032                                                                                       | M0   | M1 – schnelle Umsetzung | M1 – langsame Umsetzung |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|-------------------------|
| 1               | Abschnitte, die der stofflichen Verwertung zugeführt werden                                | 50%  | 95%                     | 75%                     |
| 2               | Anteil rückgebautes EPS, das in Recycling gelangt (nach Rückbau, Sortierung, Aufbereitung) | 0%   | 60%                     | 16%                     |
| 3               | Effizienz Recycling                                                                        | 95%  | 90%                     | 70%                     |
| 4               | Einsatz Sekundärmaterial                                                                   | 100% | 100%                    | 100%                    |

| Prozessschritt | 2040                                                                          | M0   | M1 – schnelle Umsetzung | M1 – langsame Umsetzung |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|-------------------------|
| 1              | Abschnitte                                                                    | 60%  | 95%                     | 80%                     |
| 2              | Anteil EPS, das in Recycling gelangt (nach Rückbau, Sortierung, Aufbereitung) | 12%  | 85%                     | 50%                     |
| 3              | Effizienz Recycling                                                           | 70%  | 95%                     | 80%                     |
| 4              | Einsatz Sekundärmaterial                                                      | 100% | 100%                    | 100%                    |
| Prozessschritt | 2055                                                                          | M0   | M1 – schnelle Umsetzung | M1 – langsame Umsetzung |
| 1              | Abschnitte                                                                    | 70%  | 95%                     | 90%                     |
| 2              | Anteil EPS, das in Recycling gelangt (nach Rückbau, Sortierung, Aufbereitung) | 52%  | 95%                     | 83%                     |
| 3              | Effizienz Recycling                                                           | 85%  | 99%                     | 95%                     |
| 4              | Einsatz Sekundärmaterial                                                      | 100% | 100%                    | 100%                    |

### A1.1.3 Mengengerüst

Die Mengen der verbauten und rückgebauten EPS-Dämmmaterialien für die verschiedenen Zeithorizonte wurden basierend auf Kulakovskaya et al. (2023) und Wiprächtiger et al. (2020) bestimmt, resp. (Heeren & Hellweg, 2019). In diese Modellierungen flossen indirekt Annahmen zur Bautätigkeit und dem Bevölkerungswachstum ein. Nach Rücksprache mit Produzenten, wurde die Prognose für den Einsatz von EPS in der Zukunft angepasst. In der Modellierung in der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass der EPS-Einsatz stagniert (im Gegensatz zu den Studien von Kulakovskaya et al., (2023) und Wiprächtiger et al., (2020)). Die eingesetzten und rückgebauten Materialmengen wurden dann mithilfe einer dynamischen Materialflussanalyse (Müller et al., 2014), basierend auf der Lebensdauer der Dämmplatten, modelliert (Heeren & Hellweg, 2019; Kulakovskaya et al., 2023; Wiprächtiger et al., 2020).

### A.1.2 Resultate Materialflussanalysen

Im Folgenden werden die Materialflussanalysen für die verschiedenen Szenarien und Zeithorizonte präsentiert.

2032

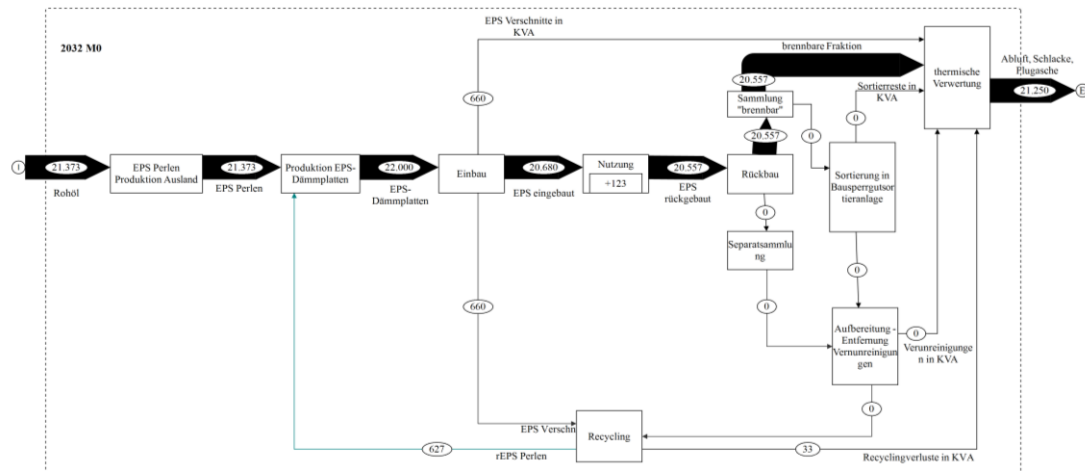


Abbildung A.2: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2032 für das Nullszenario (M0). Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.

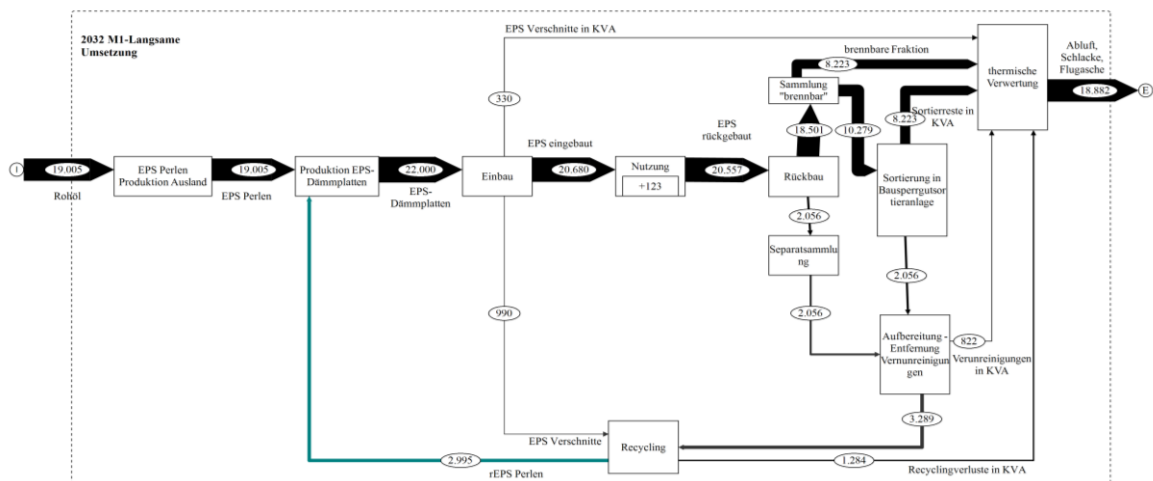


Abbildung A.3: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2032 für das Massnahmenzenario – langsame Umsetzung. Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.

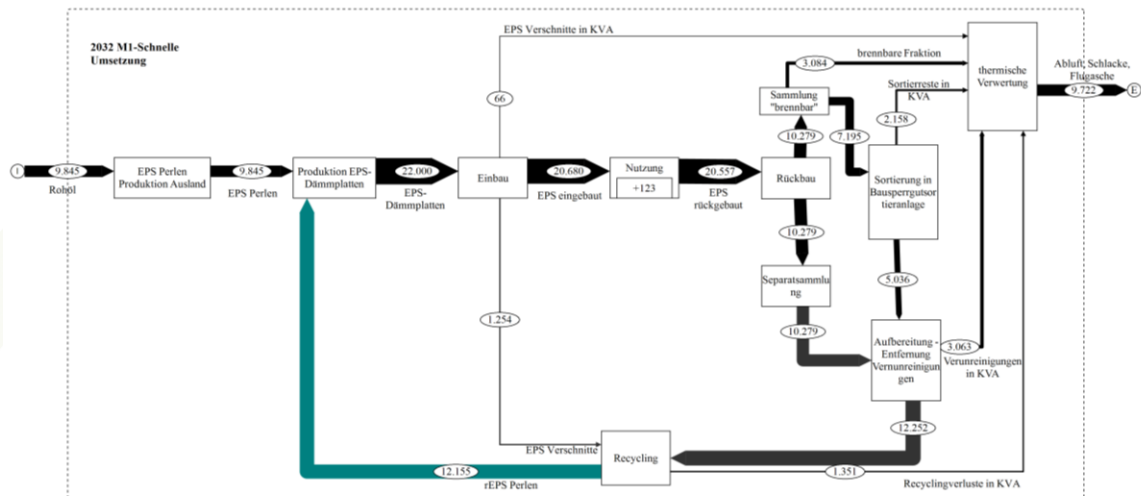


Abbildung A.4: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2032 für das Massnahmenszenario – schnelle Umsetzung. Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.

2040

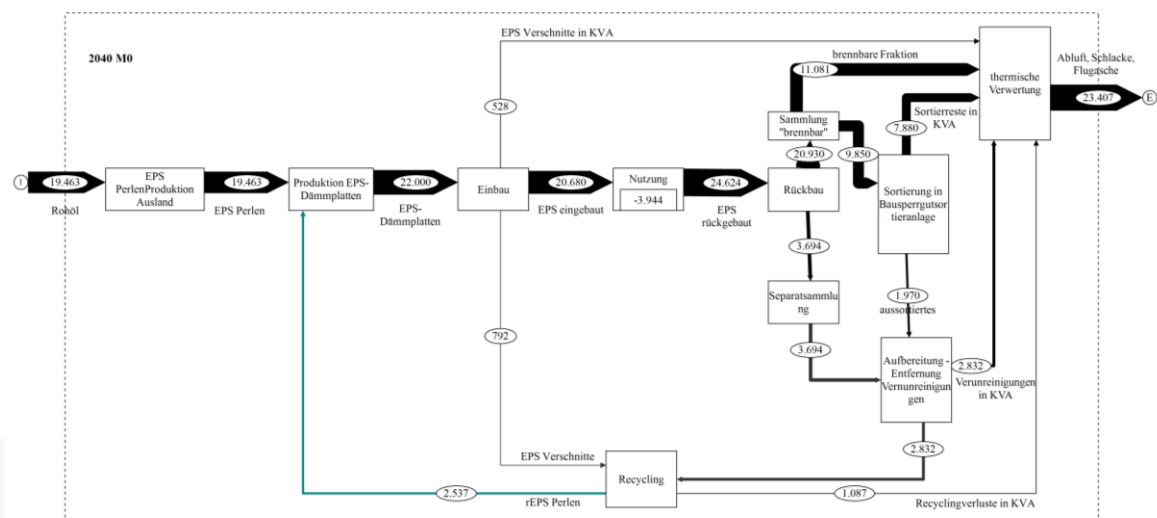


Abbildung A.5: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2040 für das Nullszenario (M0). Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.



2055

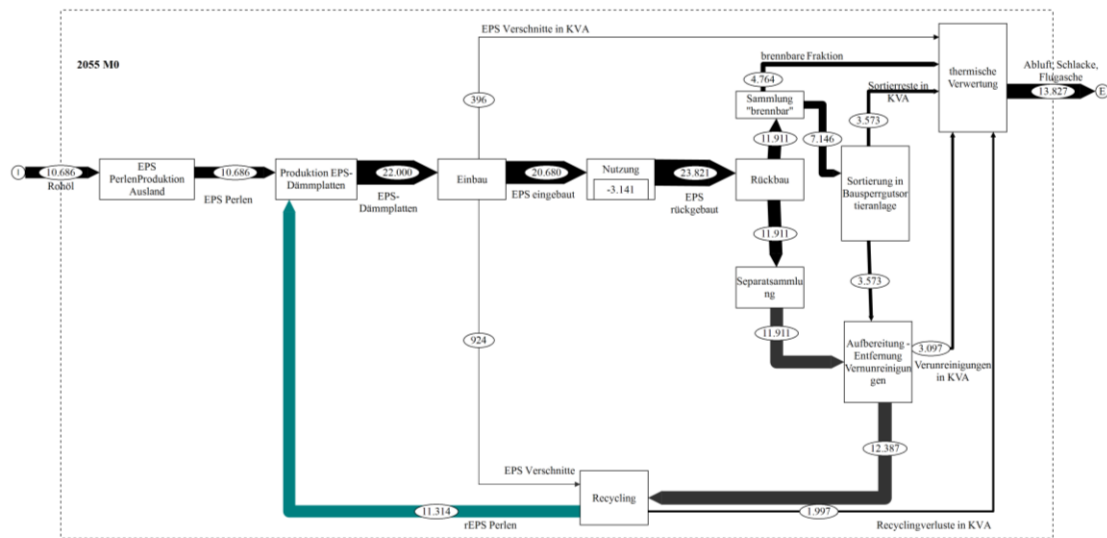


Abbildung A.8: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2055 für das Nullszenario (M0). Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.

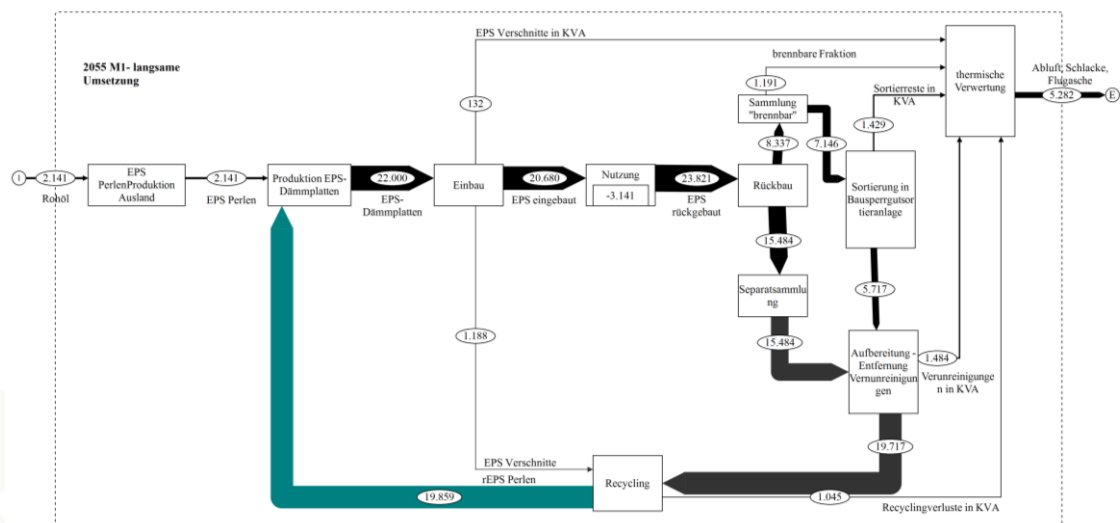


Abbildung A.9: Materialflussanalyse der EPS-Dämmungen in der Schweiz für das Jahr 2055 für das Massnahmenszenario – langsame Umsetzung (M0). Die Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr (t/a) dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze.



#### A.1.4 Resultate für Methode der ökologischen Knappheit

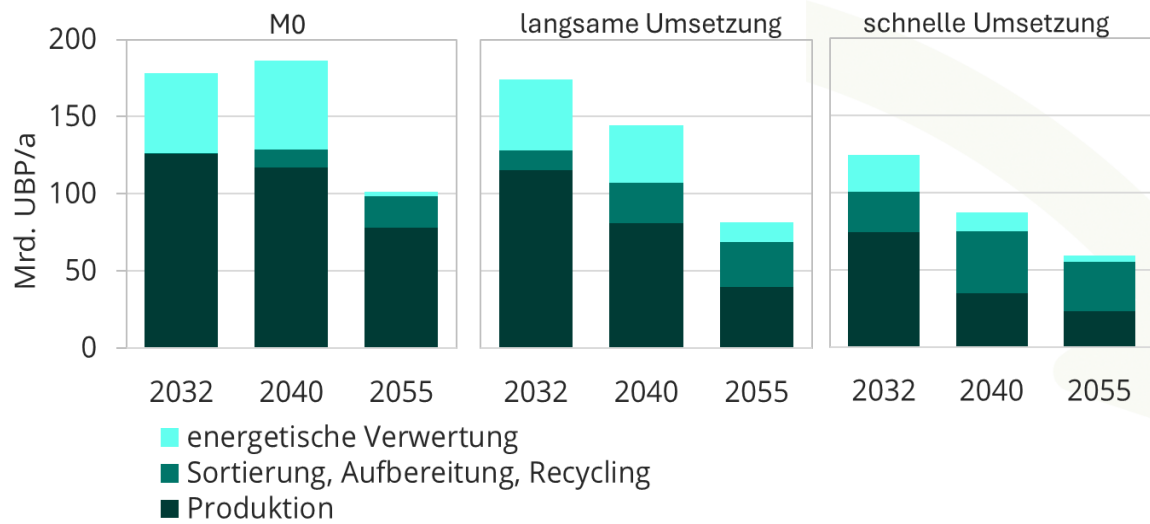


Abbildung A.11: Übersicht über die Umweltwirkungen gem. der Methode der ökologischen Knappheit für die verschiedenen (Unter-) Szenarien und Zeithorizonte

## A.2 Szenarioannahmen für die Kostenschätzung

Auf Basis der Fachgespräche mit betroffenen Unternehmen haben wir folgende Kostenschätzungen erstellt. Dabei handelt es sich jedoch lediglich um grobe Schätzungen. Um den grossen Unsicherheiten, die mit diesen Schätzungen verbunden sind, Rechnung zu tragen, haben wir die zugrundeliegenden Annahmen variiert und je minimale und maximale Kostenschätzungen erstellt.

### A2.1 Kosten Primärmaterial

Tabelle A.2: Übersicht Kosten Primärmaterial

|              |         | Min  | Max  | Einheit |
|--------------|---------|------|------|---------|
| Kosten       | EPS be- | 3350 | 3350 | CHF     |
| ads/t        |         |      |      |         |
| Kosten       | EPS     | 4100 | 4100 | CHF     |
| Dämmplatte/t |         |      |      |         |

### A.2.2 Kosten Rückbau

Tabelle A.3: Übersicht Kosten Rückbau – Konventionelle Baggermethode

|                     | Min   | Max   | Einheit |
|---------------------|-------|-------|---------|
| Kosten Bag-         | 140   | 160   | CHF     |
| ger/Stunde          |       |       |         |
| Ertrag m2/Tag       | 120   | 100   | m2      |
| 1 Helfer/pro Stunde | 80    | 90    | CHF     |
| Zwischensumme Kos-  | 14.7  | 20.0  | CHF     |
| ten/m2              |       |       |         |
| Annahme: Stärke EPS | 0.15  | 0.10  | m       |
| t/m3                | 0.030 | 0.025 | t       |
| Zwischensumme Kos-  | 97.8  | 200.0 | CHF     |
| ten/m3              |       |       |         |
| Summe Kosten/t      | 3259  | 8000  | CHF     |

Tabelle A.4: Übersicht Kosten Rückbau – Heizschaber o.Ä.

|                     | Min  | Max   | Einheit |
|---------------------|------|-------|---------|
| Ertrag/Arbeits-     | 50   | 40    | m2      |
| tag/Person          |      |       |         |
| Annahme: Stärke     | 0.15 | 0.1   | m       |
| EPS                 |      |       |         |
| Ertrag/Arbeits-     | 7.5  | 4     | m3      |
| tag/Person          |      |       |         |
| Annahme: t/m3       | 0.03 | 0.025 | t       |
| Ertrag/Arbeits-     | 0.23 | 0.10  | t       |
| tag/Person          |      |       |         |
| Annahme: Arbeits-   | 80   | 90    | CHF     |
| kosten/Stunde       |      |       |         |
| Zwischensumme       | 2844 | 7200  | CHF     |
| Kosten/t            |      |       |         |
| Gerüst stellen, mit | 2500 | 3200  | CHF     |
| Plane Abhän-        |      |       |         |
| gen/300 m2/Woche    |      |       |         |

|                                      |             |              |            |
|--------------------------------------|-------------|--------------|------------|
| Annahme Fassa-<br>denfläche          | 300         | 200          | m2         |
| Gerüst-Plane-Kos-<br>ten/t           | 1851.8519   | 6400         | CHF        |
| <b>Summe Kosten/t<br/>mit Gerüst</b> | <b>4696</b> | <b>13600</b> | <b>CHF</b> |

Tabelle A.5: Übersicht Kosten Rückbau – Rückbau mit Roboter

|                            | Min         | Max         | Einheit    |
|----------------------------|-------------|-------------|------------|
| Kosten pro h               | 100         | 120         | CHF        |
| Ertrag m2/Tag              | 200         | 160         | m2         |
| 1 Helfer/pro<br>Stunde     | 80          | 90          | CHF        |
| Zwischensumme<br>Kosten/m2 | 7.2         | 10.5        | CHF        |
| Annahme: Stärke<br>EPS     | 0.15        | 0.10        | m          |
| t/m3                       | 0.030       | 0.025       | t          |
| Zwischensumme<br>Kosten/m3 | 48          | 105         | CHF        |
| <b>Summe Kosten/t</b>      | <b>1600</b> | <b>4200</b> | <b>CHF</b> |

## A2.3 Kosten Sortierung

Tabelle A.6: Übersicht Kosten Sortierung

|                         | Min         | Max         | Einheit    |
|-------------------------|-------------|-------------|------------|
| Kosten/t Bau-<br>abfall | 40          | 40          | CHF        |
| t EPS/t Bauab-<br>fall  | 0.02        | 0.01        | t          |
| <b>Kosten/t EPS</b>     | <b>2000</b> | <b>4000</b> | <b>CHF</b> |

## A2.4 Kosten Aufbereitung

Tabelle A.7: Übersicht Kosten Aufbereitung

|                            | Min | Max | Einheit |
|----------------------------|-----|-----|---------|
| Aufbereitungs-<br>kosten/t | 76  | 76  | CHF     |

## A2.5 Kosten Recycling

Tabelle A.8: Übersicht Kosten Recycling

| Prozessschritt                                               | Min         | Max  |              |
|--------------------------------------------------------------|-------------|------|--------------|
| Reinigung + Gra-<br>nulierung<br>(inkl. Rohstoffkos-<br>ten) | 840         |      | CHF/t        |
| HBCDD-Entfer-<br>nung                                        | 2500        |      | CHF/t        |
| <b>R-GPPS</b>                                                | <b>3340</b> |      | <b>CHF/t</b> |
| Szenarien laut AI-<br>porit                                  | 3100        | 3800 | CHF/t        |

## A2.6 Kosten Annahmen Anteil Rückbaumethoden

Die nachfolgende Tabelle zeigt, welchen Anteil die einzelnen Rückbaumethoden am gesamten rückgebauten EPS-Volumen in den einzelnen Szenarien und Zeithorizonten gemäss unseren Annahmen ausmachen.

Tabelle A.6: Übersicht Anteil Rückbaumethoden

| Jahr        | Szenario                   | Konvention-<br>nelle Bagger-<br>Methode | Heizschaber<br>o.Ä. | Roboter |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------------|---------------------|---------|
| <b>2032</b> | M0                         | 100%                                    | 0%                  | 0%      |
|             | M1 - schnelle<br>Umsetzung | 50%                                     | 50%                 | 0%      |
|             | M1 – langsame<br>Umsetzung | 90%                                     | 10%                 | 0%      |
| <b>2040</b> | M0                         | 20%                                     | 80%                 | 0%      |
|             | M1 - schnelle<br>Umsetzung | 5%                                      | 65%                 | 30%     |
|             | M1 - langsame<br>Umsetzung | 10%                                     | 70%                 | 20%     |
| <b>2055</b> | M0                         | 10%                                     | 60%                 | 30%     |
|             | M1 - schnelle<br>Umsetzung | 0%                                      | 45%                 | 50%     |
|             | M1 - langsame<br>Umsetzung | 5%                                      | 55%                 | 40%     |

## A.3 Schätzung: Wie viele Unternehmen wären betroffen?

Es gibt keine amtlichen Statistiken dazu, wie viele Unternehmen als Eigentümer:innen von Gebäuden betroffen wären, die über eine EPS-Fassadendämmung verfügen und sich an die Vorgabe halten müssten. Auf Basis der frei verfügbaren Daten konnten wir lediglich eine grobe Schätzung erstellen. Dazu haben wir drei unterschiedliche Wege und Datengrundlagen genutzt.

### A.3.1 BFS-Eigentümerstatistik (Wohngebäude)

Laut Bundesamt für Statistik sind rund 175'000 Wohngebäude im Besitz von juristischen Personen. Die Statistik bezieht sich nur auf Gebäude mit Wohnnutzung, nicht auf Büro- und Gewerbebauten. Daher ist die tatsächliche Zahl aller Gebäude im Besitz von Unternehmen vermutlich höher.

Diese Zahl bietet eine grobe Obergrenze für die betroffenen Objekte, nicht für die Anzahl Unternehmen, da Eigentümer mehrere Gebäude besitzen können. Die Swiss Life besitzt 268 Liegenschaften in der Schweiz (Swiss Life Asset Mangers, 2024). Allerdings werden nicht alle dieser Gebäude betroffen sein, da nur ein Teil davon eine EPS-Fassadendämmung hat.

Architekt:innen und Bauherrenberater:innen, die wir im Rahmen der Studie befragt haben, gehen von Sanierungsintervall von 20–30 Jahren aus. So ergibt sich eine jährliche Sanierungsrate von rund 6.000 - 9.000 Gebäuden. So könnten 6.000 bis 9.000 Unternehmen betroffen sein - angenommen ein Unternehmen besitzt immer nur ein Gebäude.

### A.3.2 Gebäudeprogramm

Laut Jahresbericht 2023 wurden mit dem Gebäudeprogramm rund 9'000 Fassadendämmungen gefördert. Wenn wir erneut annehmen, dass ein Drittel im Eigentum von Unternehmen liegt, wären das 3'000 Fassadendämmungen von Unternehmen. Nur bei einem kleinen Teil der geförderten Fassadendämmungen, dürften bestehende EPS-Dämmungen ersetzt worden sein.

Die Zahl bietet aber eine grobe Grössenordnung dafür, wie viele Fassaden in 20 bis 30 Jahren saniert werden dürften. Und möglicherweise entfällt ein grosser Anteil auf EPS-Dämmungen.

### A.3.3 Fazit

Auf dieser Basis schätzen wir grob, dass rund 200 bis 3'000 Unternehmen als Gebäudeeigentümer:innen betroffen wären.

## A.4 Weiterführende Erläuterungen zu Optimierungsmöglichkeiten der Massnahme

In Kapitel 5.4.2 werden kurz mögliche Optimierungsmöglichkeiten für die untersuchte Massnahmen aufgegriffen. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Möglichkeiten detaillierter erläutert und eingeordnet.

### *Bagatellgrenze*

Folgende Gründe würden dafürsprechen, die stoffliche Verwertung von rückgebauten EPS-Dämmstoffen erst ab einer gewissen im Gebäude verbauten Menge vorzugeben:

- Der Aufwand vs. Nutzen nimmt tendenziell ab, je mehr vom gleichen Ort kommen kann.
- Die Logistik für die stoffliche Verwertung bei sehr kleinen Baustellen wäre nicht verhältnismässig.
- Bauherr:innen kleiner Bauvorhaben werden entlastet.

Eine solche Begrenzung bringt aber auch zusätzliche Herausforderungen mit sich:

- Die Einführung einer Bagatellgrenze für eine materialspezifische Vorgabe öffnet das Feld, dies auch für andere Materialien zu machen. Das endet in zu vielen unterschiedlichen Anforderungen innerhalb der Baubranche, was nicht zielführend ist. Wenn dann bräuchte es eine Grösse, die übergreifend einsetzbar ist. Ob diese dann noch sinnvoll ist, ist fragwürdig.
- Datenmässig ist es sehr aufwendig abzuschätzen, was die unterschiedlichen Bagatellgrössen für Auswirkungen auf die Mengenströme hätten. Somit kann nicht einfach eruiert werden, was diesbezüglich sinnvoll sein könnte.
- Eine Bagatellgrenze kann nur gesetzt werden, wenn der Vollzug auf der Baustelle erfolgt. Bei späteren Prozessschritten ist es zu aufwändig die Herkunft und damit Grösse der Baustelle nachzuvollziehen.

Ob eine solche Schwelle zielführend ist, müsste zusätzlich untersucht werden. Sie bietet aber eine gewisse Chance, dass der zusätzliche Aufwand auch dort anfällt, wo er sich lohnt. Gegebenenfalls geschieht dies aber auch schon indirekt über die wirtschaftliche Tragbarkeit und ist damit nicht nötig.

### *Synergien mit Recycling von EPS-Verpackungen und gegebenenfalls XPS-Dämmstoffen*

In der vorliegenden Studie fokussierten wir auf das Recycling von EPS-Dämmstoffen. Im gleichen Verfahren (ohne den Schritt zur HBCDD-Entfernung) können auch Verpackungen aus EPS und XPS-Dämmstoffe (insb. schadstofffreie Verschnitte) recycelt werden. Das Recycling der EPS-Verpackungen erfolgt bereits auf der Anlage der alporit AG und soll weiter ausgebaut werden. Direkte Synergien mit der Sammlung von EPS-Verpackungen sehen wir für die Sammlung von EPS-Dämmstoffen nicht. Die Verpackungen können aber helfen, Kapazitäten von Recycling-Anlagen besser auszulasten. Ist die Kapazität der Anlagen jedoch begrenzt, werden Verpackungen wohl präferierter recycelt als das Rückbaumaterial, welches noch HBCDD-enthält. Wir empfehlen die Entwicklung des EPS-Verpackungsrecyclings hinsichtlich notwendiger Anlagenkapazität mitzuberücksichtigen. Ebenfalls relevant könnte in diesem Zusammenhang das aktuell auf internationaler Ebene diskutierte Polystyrol-Verbot sein. Falls dieses auch EPS-Verpackungen betrifft, fallen gesicherte Mengen an zu recycelndem EPS für die Recyclinganlagen weg.

### *Verhinderung möglicher Monopole*

Ein Risiko der in dieser Studie untersuchten Massnahme besteht darin, dass zu Beginn nur eine Recyclinganlage geben wird und dies eine Monopolstellung deren Betreiberin zur Folge hat. Damit könnten sie genaue Anlieferungsbedingungen durchsetzen und Kosten auf die vorgehenden Prozesse abwälzen. Dem entgegenwirken würde die in der Massnahme vorhandene Möglichkeit des Exports zu ausländischen Recyclern. Eine Anlage besteht bereits in den Niederlanden. Der Transport ins Ausland ist jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden, wodurch in einer Übergangsphase die Betreiberin der ersten Recyclinganlage Anlieferungsbedingungen durchsetzen und teilweise Kosten auf vorgehende Prozesse abwälzen könnte. Zusätzlich bedarf es einer speziellen Konzession, mit HBCD-versetzte Abfälle grenzüberschreitend zu transportieren.

Zudem könnte es mittelfristig zu neuen Markteintritten kommen. Gegebenenfalls ist es notwendig, mit einer vertiefteren Marktanalyse Massnahmen zu eruieren, mit denen der Staat verhindern kann, dass eine solche Monopolstellung aufgrund einer rechtlichen Vorgabe entsteht oder falls unvermeidbar, wie sichergestellt werden kann, dass sie nicht ausgenützt wird.