



Entwicklung innovativer Recyclingverfahren für Mineralwolleabfälle – Projekt RecyMin

Theresa Sattler¹, Robert Galler² und Daniel Vollprecht¹

¹Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

²Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Eingegangen 17. Oktober 2019; angenommen 8. November 2019; online publiziert 26. November 2019

Zusammenfassung: Mineralwolleabfall, Glas- sowie Steinwolleabfall fällt durch den Rückbau von Gebäuden im Bauwesen an. Dieser Abfallstrom weist eine schlechte Verdichtbarkeit, elastisches Verhalten und eine geringe Rohdichte auf, was sich bei der Deponierung als problematisch erweist. Mineralwolleabfall, bestehend aus Mineralwolle, die vor dem Jahr 1998 produziert wurde, wird als gefährlicher Abfall eingestuft. Diesem Abfall wird die gefahrenrelevante Eigenschaft HP 7 (karzinogen) zugeordnet. Mineralwolleabfälle bestehend aus Mineralwolleprodukten, die das RAL oder EUCEB Gütesiegel tragen, sind als ungefährlicher Abfall einzustufen und werden der Schlüsselnummer 31416 „Mineralfasern“ zugeordnet. Das Projekt RecyMin beschäftigt sich mit der Entwicklung unterschiedlicher Recyclingoptionen von Mineralwolleabfällen, da es in Österreich derzeit noch kein Recycling für diesen Abfallstrom gibt. Im Gegensatz zu Recyclingkonzepten anderer Länder werden bei RecyMin sämtliche Mineralwolleabfälle, auch durch Störstoffe verunreinigte Mineralwolleabfälle unbekannter Herkunft, berücksichtigt. Die im Projekt vorgesehenen Recyclingoptionen werden anhand ökonomischer und ökologischer Kriterien beleuchtet.

Schlüsselwörter: Recycling, Mineralwolle, Abfall, Projekt, RecyMin, Baurestmassen, Gefährlicher Abfall

Development of Innovative Recycling Processes for Mineral Wool Waste—Project RecyMin

Abstract: Demolition activities of the building and construction industry generate mineral wool waste. This mineral wool waste is characterised by unfavourable mechanical properties like low compactability, elastic behaviour and low bulk density, which causes problems on landfills when mineral wool waste is disposed of. Mineral wool

waste consisting of mineral wool that was produced prior to the year 1998 is classified as carcinogenic (HP 7) after the Commission regulation 1357/2014 of the European Union Parliament and Council. Mineral wool waste consisting of mineral wool products that carry the RAL or EUCEB label and produced from 1998 onwards belongs to the non-hazardous waste type 31416 “Mineral fibres”. The project RecyMin generates several recycling options of mineral wool waste and is a novelty, as the recycling of mineral wool waste has not been performed in Austria so far. RecyMin compares different concepts with respect to environmental and economic criteria. RecyMin also deals with old mineral wool waste, mineral wool waste with various impurities and mineral wool waste of unknown origin, which makes this project unique beyond some recycling and processing options that do already exist in other countries.

Keywords: Recycling, Mineral wool, Waste, Project, RecyMin, Construction, Demolition, Hazardous waste

1. Einleitung

Mineralwolle gehört der Gruppe der künstlichen Mineralfasern an und wird hauptsächlich aus Glas, magmatischen Gesteinen und Schlacken hergestellt. Analog dazu werden Mineralwollen in Glaswolle, Steinwolle und Schlackewolle untergliedert [1].

Primär werden Mineralwollen in isolierender Funktion eingesetzt, aber auch z. B. im Gartenbau. Mineralwolle kann in loser Form sowie in verpresster Form eingesetzt werden [2].

Aufgrund des hohen Volumens und der geringen Rohdichte von Mineralwolle bereiten auch die aus dem Gebäudeabbruch resultierenden Mineralwolleabfälle Probleme in der Abfallwirtschaft. Mineralwolleabfall, bestehend aus Mineralwolle, die vor dem Jahr 1998 produziert wurde, wird als gefährlicher Abfall eingestuft. Diesem Abfall wird gemäß der Verordnung (EU) Nr. 1357/2014 der Kommission vom 18. Dezember 2014 die gefahrenrelevante Eigenschaft

T. Sattler, MSc (✉)
 Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft,
 Montanuniversität Leoben,
 8700 Leoben, Österreich
theresa.sattler@unileoben.ac.at

HP 7 (karzinogen) zugeordnet [3]. Die Ablagerung von Mineralwolleabfällen auf Deponien führt unter anderem zu instabilen Deponiekörpern, welche eine Gefahr für die Standsicherheit der Deponie darstellen können. Durch ein Ansteigen dieses Abfallstroms und die getrennte Sammlung von Mineralwolleabfällen, bedingt durch die Trennpflicht der österreichischen Recycling-Baustoffverordnung, ist abzusehen, dass diese sortenreinen Abfallströme in Zukunft Probleme bereiten werden. Daher ist es unabdingbar, neue ressourcenschonende und umweltfreundliche Wege zu finden. Diese zukünftigen Möglichkeiten werden im Projekt RecyMin (Recycling von Mineralwolleabfällen) an der Montanuniversität sowie bei der Porr Umwelttechnik GmbH und der Lafarge Zementwerke GmbH aus wissenschaftlicher Sicht beleuchtet und erforscht.

2. Ziele des Projekts RecyMin

Im Projekt RecyMin wird an abfallwirtschaftlichen, abfalltechnischen und recyclingtechnischen Zusammenhängen geforscht. Die grundlagennahe sowie anwendungsorientierte Herangehensweise ermöglicht die Entwicklung innovativer Lösungsansätze für die variierenden Herausforderungen, die eine Handhabung des Materials bei der Deponierung sowie das Entwickeln neuer Recyclingoptionen mit sich bringen.

Im Projekt RecyMin wird ein mehrstufiges Ziel angestrebt, das von der Entwicklung eines Konzepts zur Konditionierung von Mineralwolleabfällen für die Deponierung durch nass- sowie trockenmechanische Aufbereitung, über Untersuchungen zur Entwicklung eines Versatzproduktes aus Mineralwolleabfällen für den untertägigen Bergbau, der Entwicklung eines Konzepts zum Einsatz von Mineralwolleabfällen als Ersatzrohstoff in der Zementindustrie, bis



Abb. 1: Projektskizze Projekt RecyMin

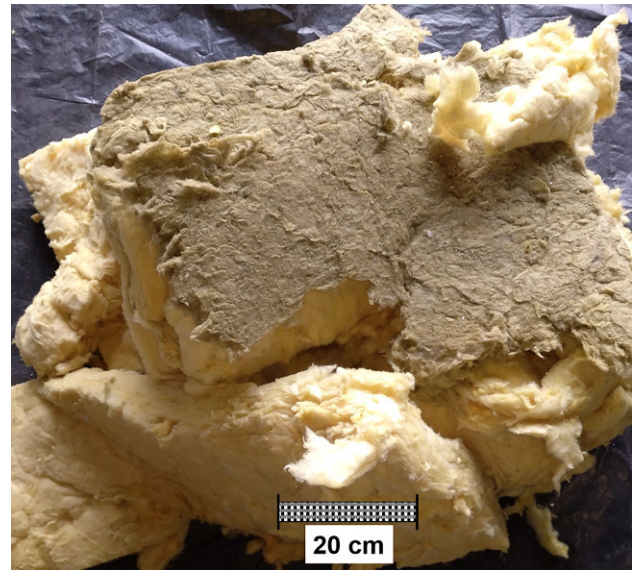


Abb. 2: Mineralwolleabfall bestehend aus Glas- sowie Steinwolle

hin zur Entwicklung eines Konzepts zur Rückführung von Mineralwolleabfällen in die Mineralwolleindustrie reicht (Abb. 1).

3. Abfallwirtschaftliche Aspekte

Eine Verfahrenskombination aus abfallwirtschaftlicher Stoffflussanalyse, abfallchemischer, abfallmineralogischer und morphologischer Materialcharakterisierung wurde für die Beurteilung des schwankenden und unbekanntes Recycling- und Gefährdungspotenzials von Mineralwolleabfällen (Abb. 2) durchgeführt [4, 5]. Die abgeschätzte Abfallmenge an Mineralwolleabfällen beträgt derzeit für Österreich 24.276t/a.

4. Aufbereitung

Im Rahmen des Projekts wurden Mineralwolleabfälle aufbereitungstechnischen Versuchen unterzogen, um ihre deponietechnischen Eigenschaften sowie ihre Verwertbarkeit zu verbessern.

Um die ungünstigen deponie- und recyclingtechnischen Eigenschaften der Mineralwolleabfälle zu verbessern, wurde zuerst der Faserverbund gelöst. Hierfür wurden schneidende und reißende Zerkleinerungsaggregate eingesetzt. Der Agglomerationsprozess, die Brikettierung (Abb. 3), schließt direkt an die Grobzerkleinerung an. Durch die Brikettierung der Mineralwolleabfälle wurde einerseits eine bessere Verdichtbarkeit für die Deponierung, aber auch eine höhere Druckfestigkeit von bis zu maximal 13MPa erreicht [4, 5].

Abb. 3: Mineralwollebrikett bestehend aus Steinwolle und Bindemittel



5. Deponierung

Im Projekt wurden deponietechnische Tests entwickelt, um das Ablagerungsverhalten der Mineralwollebriketts sowie das Langzeitverhalten unter bestimmten Belastungen im Deponiekörper selbst zu bewerten. In einem zyklischen Belastungsversuch wurden mehrere Szenarien getestet, wobei auf die Probekörper eine uniaxiale Kraft aufgebracht wurde.

6. Stoffliche Verwertung

6.1 Bergversatz

Der Bergversatz ist eine weitere alternative Einsatzmöglichkeit für Mineralwolleabfälle [6]. In Deutschland besteht ein patentiertes Verfahren [7], während bisher in Österreich noch keine Versatzprodukte aus Mineralwolleabfällen erzeugt werden [5].

Im Projekt RecyMin werden hydraulisch abbindende, pumpfähige Versatzprodukte hergestellt, die hauptsächlich aus Sekundärrohstoffen bestehen. Auf klassische Zemente wird aus Gründen der CO₂-Neutralität und Ressourceneffizienz möglichst verzichtet. Mögliche Wechselwirkungen mit Bergwässern und das Laugungsverhalten des Versatzmaterials werden in Laboruntersuchungen getestet [4].

6.2 Verwertung in der Zementindustrie

Auch an der Verwertung von Mineralwolleabfällen in der Zementindustrie wird im Projekt RecyMin geforscht. Einerseits besteht hierbei die Möglichkeit auf den Einsatz von Mineralwolleabfällen als Ersatzrohstoff in der Klinkerherstellung, andererseits die Verwendung des Materials als Zuschlagstoff in der Vermahlung des Klinkers zu Zement [5].

Als Klinkerrohstoff könnte Mineralwolle aus chemisch-mineralogischer Sicht natürliche Rohstoffe wie Kalkstein und Ton ersetzen. Dies könnte zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen. Aufgrund der Prozessführung im System ist auf die Gleichmäßigkeit der Materialien, eine möglichst geringe Belastung durch organische Bestandteile sowie die Stimmigkeit im Chemismus der sonstigen

Rohmaterialien zu achten [5]. Durch die thermischen Prozesse findet eine Umschmelzung der Fasern zu nicht-faserigen Klinkerphasen statt, so dass auch im Falle gefährlicher Mineralwolleabfälle die gefahrenrelevante Eigenschaft zerstört wird [4].

Werden Mineralwolleabfälle als Zuschlagstoff eingesetzt, dürfen sie hingegen keine gefahrenrelevante Eigenschaft aufweisen und müssen bereits latent hydraulische Eigenschaften besitzen, da hier kein Hochtemperaturprozess stattfindet. Um puzzolanische Aktivität zu erreichen, müssen Mineralwolleabfälle auf <75 µm aufgemahlen werden [8]. Die Komponenten werden im Mahlprozess sehr fein vermahlen und gemischt. Das Einsetzen der vermahlenden Mineralwolleabfälle kann Einfluss auf die Abbindeigenschaften des Zementes, wie den Zeitverlauf, Früh- und Endfestigkeit haben [5].

6.3 Recycling in der Mineralwolleindustrie

In Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft ist das Recycling von Mineralwolleabfällen in der Mineralwolleindustrie eine optimale Lösung. Durch das Wiedereinschmelzen von Mineralwolleabfällen werden gefährdungsrelevante Charakteristika wie Morphologie und Chemie im Schmelz- und Erstarrungsprozess modifiziert [5]. Zudem können somit Rohstoffe durch Sekundärrohstoffe ersetzt werden.

Eine Schwierigkeit stellt jedoch der hohe Feinanteil von Mineralwolleabfällen dar, der unmittelbare Einsatz kann zu einer Verstopfung der Zufuhr von Luft und Sauerstoff führen [9]. Dem kann durch eine Brikettierung unter Einsatz eines Bindemittels vorgebeugt werden [5].

In mehreren Studien wurde bereits diese Verwertungsoption untersucht [8, 10, 11], hierfür wurden allerdings ausschließlich Produktionsabfälle verwertet [12], da die chemische Zusammensetzung für die Verwertung bekannt sein muss [13]. Dies ist jedoch bei Mineralwolleabfällen, welche den Baurestmassen zugeordnet werden, nicht der Fall [5].

Ein mögliches Brikettierverfahren von Öhberg [10] sieht vor, Bindemittel wie Portlandzement, Ton und Wasserglas mit Mineralwolle zu brikettieren. Beim Erhitzen der Briketts auf eine Temperatur von 500°C konnte jedoch eine Abnahme der Druckfestigkeit festgestellt werden, worauf die entstandenen Brikettbruchstücke die Zufuhr von Luft und Gasen verstopfte. Daraus resultierte ein inhomogenes Aufschmelzen des Materials. Durch eine Erhöhung des SiO₂-Gehalts des Bindemittels und eine Aufmahlung auf eine Korngröße von <100 µm konnten Briketts mit einer uniaxialen Druckfestigkeit von 5,9 N/mm² erzeugt werden [11].

Um die Energieeffizienz im Recyclingprozess zu steigern, stellt die Absenkung des Schmelzpunktes eine Möglichkeit dar. Diese kann durch das Verwenden von Bindemitteln mit geringen Schmelztemperaturen erreicht werden, wobei dies ein Gemisch aus Illit, Dolomit und Zement sein könnte [9].

Ein Verfahren für ein direktes Einbringen von Mineralwolleabfällen in den Kupolofen wurde im Rahmen des EU-Forschungsprogramms LIFE entwickelt. Ohne vorangestellte Aufbereitungsschritte wurden Mineralwolleabfälle mit einer Korngröße zwischen 0–6 mm injiziert, wobei eine Sub-

stitutionsrate von 10% erreicht werden konnte. Bei einer Substitutionsrate von 5% wurde eine Kokseinsparung von mehr als 10% erzielt [14].

Trotz der untersuchten Recyclingoptionen, die bereits bestehen, erfolgt in Österreich kein Recycling von Mineralwolleabfällen, da die Hersteller nur eigene Produkte zurücknehmen und diese Information beim Abbruch von Gebäuden meist nicht bekannt ist [5, 15].

Im Projekt RecyMin werden Analysen in Bezug auf Auswirkungen auf verfahrenstechnisch relevante Eigenschaften der Schmelze und auf die Qualität der Produkte untersucht. Als Herausforderung gilt die inhomogene Temperaturverteilung beim Einsatz unbehandelter Mineralwolleabfälle, welcher durch ein speziell entwickeltes Brikettierverfahren für das Rohgut entgegengewirkt wird. Zur Kompensation des Chemismus werden Additive als Bindemittel eingesetzt [5].

7. Sonstige Verwertungskonzepte

Neben dem Recycling von Mineralwolle in der Mineralwolleindustrie bestehen weitere alternative Verwertungsmöglichkeiten z. B. in Kombination mit illitischen Tonen für die Herstellung von Keramiken [16] sowie mit Holz in Spanplatten [17].

Die Verwertung von Mineralwolleabfällen als grobe oder feine Gesteinskörnung oder ultrafeiner Füllstoff in der Betonindustrie ist eine bedeutsame Option. Die Zug- und Druckfestigkeit, Absorptionsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit und Chloridbeständigkeit wird durch eine Zugabe als grobe Körnung verbessert und die Rissausbreitung gehemmt [8]. Auch die Härte von derartigen Verbunden wird durch eine Zugabe erhöht [18].

8. Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt RecyMin ist ein grundlagenorientiertes Forschungsprojekt, welches an Themenbereichen wie der innovativen Deponierung sowie dem Recycling von Mineralwolleabfällen im Bergversatz, der Zement- und Mineralwolleindustrie forscht. Da das Projekt RecyMin einen ganzheitlichen Ansatz verfolgt, ist damit zu rechnen, dass themenübergreifend verbesserte Lösungswege für das Recycling gefunden werden. Erste Ergebnisse der Forschungsansätze von RecyMin erwiesen sich als vielversprechend, es ist in Zukunft damit zu rechnen, dass eine ressourcenschonende und effiziente Verwertungsmethode von Mineralwolleabfällen gegeben sein wird.

Im ersten Projektjahr von RecyMin wurde vor allem im Bereich der Aufbereitung der Materialien geforscht. Neben der Zerkleinerungstechnik wurde an dem optimalen Brikettierprozess gearbeitet. Die mechanische Handhabbarkeit des Materials konnte durch diesen Prozess immens verbessert werden. Die Briketts bilden eine Grundlage für zukünftige Recyclingschritte, da sie auf der Deponie abgelagert sowie im Zementwerk eingesetzt werden können. Auch für die Recyclingoption der Rückführung der Mineralwolle-

abfälle in die Mineralwolleindustrie stellen diese aufbereiteten Materialien eine Möglichkeit dar.

In zukünftigen Versuchen wird an der Entwicklung von Versatzprodukten geforscht, die den Gegebenheiten am Versuchsstandort entsprechen und neben dem passenden Laugungsverhalten auch optimale geomechanische Eigenschaften aufweisen.

Für den Einsatz von Mineralwolleabfällen in der Zementindustrie sind Klein- sowie Großversuche vorgesehen, bei denen das Schmelzverhalten der Fasern im Drehrohrföfen sowie die optimale Dosierung ermittelt werden.

Um ein Recycling der Mineralwolleabfälle in der Mineralwolleindustrie zu ermöglichen, werden die schmelzrelevanten Parameter ermittelt, die Schmelze ggf. konditioniert, und Mineralwolleabfälle zu neuer Mineralwolle versponnen.

Danksagung. Die AutorInnen danken der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), die das Projekt RecyMin im Rahmen des Programms Bridge 1 unter der Projektnummer 868064 fördert. Weiterer Dank gilt der Firma ATM Recyclingsystems für die Unterstützung bei der Brikettierung sowie der Österreichischen Staub-(Silikose-)Bekämpfungsstelle (ÖSBS) für die Beratung in Bezug auf die Arbeitssicherheit.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. DGUV (Deutsche gesetzliche Unfallversicherung e. V.): Verfahren zur getrennten Bestimmung der Konzentrationen von lungengängigen anorganischen Fasern in Arbeitsbereichen – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren, Berlin: DGUV, Februar 2014, S. 1–60 (BGI/GUV-I 505-46, DGUV Information 213–546)
2. Papadopoulos, A. M.: State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37 (2005), pp 77–86
3. Europäische Union: Verordnung Nr. 1357/2014 der Kommission vom 18. Dezember 2014 zur Ersetzung von Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
4. Sattler, T.; Vollprecht, D.; Schimek, J.; Pomberger, R.: Recycling künstlicher Mineralfasern, Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft e. V. DGAW, 9. Wissenschaftskongress, Abfall- und Ressourcenwirtschaft, Amberg-Weiden. Innsbruck: university press, 2019, pp.215–219
5. Vollprecht, D.; Sattler, T.; Doschek-Held, K.; Galler, R.; Schimek, J.; Kasper, T.; Daul, J.; Pomberger, R.: Innovative Deponierung sowie Recycling von Mineralwolleabfällen im Bergversatz, in der Zement- und in der Mineralwolleindustrie. *Berliner Konferenz, Mineralische Nebenprodukte und Abfälle*, 6, Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen, Neuruppin: Thomé-Kozmiensky, 2019, S. 481–492
6. Höllen, D.; Galler, R.; Pomberger, R.: Möglichkeit des Schlackeeinsatzes als Untertageversatz. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle*. Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen, Bd. 2, Neuruppin: TK, 2015, S. 519–530
7. Gröper, J.; Lack, D.: Verfahren zur Verwertung von Dämmmaterialabfällen aus Mineralwolle in Spezialbaustoffen. In: Pomberger, R. u. a. (Hrsg.): *Tagungsband zur 13. Recy & Depotech-Konferenz*, November 2016, Leoben: AVW (Eigenverlag), 2016, S. 161–166

8. Cheng, A.; Lin, W.-T.; Huang, R.: Application of rock wool waste in cement-based composites. *Materials and Design*, 32 (2011), pp 636–642
9. Balkevičius, V.; Christauskas, J.; Gailius, A.; Špokauskas, A.; Siaurys, V.: Analysis of some properties of model system from low melting illite clay and fibrous mineral wool waste. *Materials Science Poland*, (25) 2007, no 1, pp 209–217
10. Öhberg, T.: Schwedisches Patent Nr. 205247, 1966
11. Holbek, K.: Process for the production of mineral wool products. Patent US4287142A, 1987
12. Väntsi, O.; Kärki, T.: Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16 (2014), iss. 1, pp 62–72
13. Müller, A.; Leydoph, B.; Stanelle, K.: Recycling mineral wool waste—Technologies for the conversion of the fibre structure, Part 1. *Interceram*, 58 (2009), pp 378–381
14. Karppinen, K.: Paroc-WIM—Waste injection into the stone wool melting furnace—LIFE02 ENV/FIN/000328, 2002. http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/-index.-cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=2126&docType=pdf. Zugegriffen: 02.09.2019
15. Sattler, T.; Pomberger, R.; Schimek, J.; Vollprecht, D.: Mineral wool waste in Austria, associated health aspects and recycling options. Sardinia Symposium 2019, Proceedings SARDINIA2019. Cagliari: CISA Publisher, 2019, www.cisapublisher.com
16. Pranckevičeina, J.; Balkevičius, V.; Špokauskas, A.: Investigation on properties of sintered ceramics out of low-melting illite clay and additive of fine-dispersed nepheline syenite. *Medziagotyra*, 16 (2010), pp 231–235
17. Mamiński, M.; Król, M.; Jaskółowski, W.; Borysiuk, P.: Wood-mineral wool hybrid particleboards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69 (2011), iss. 2, pp 337–339
18. Romaniaga Piñeiro, S.; del Río Merino, M.; Pérez García, C.: New Plaster Composite with Mineral Wool Fibres from CDW Recycling. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol 2015 (2015), pp 1–9

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.