

# DAN-ISO A/S

## PURrecy

”Nachhaltige Dämmprodukte”



# Warum?

- Viel Abfall
- Wir können das besser machen
- Es ist eine Schande, gutes Material zu verbrennen

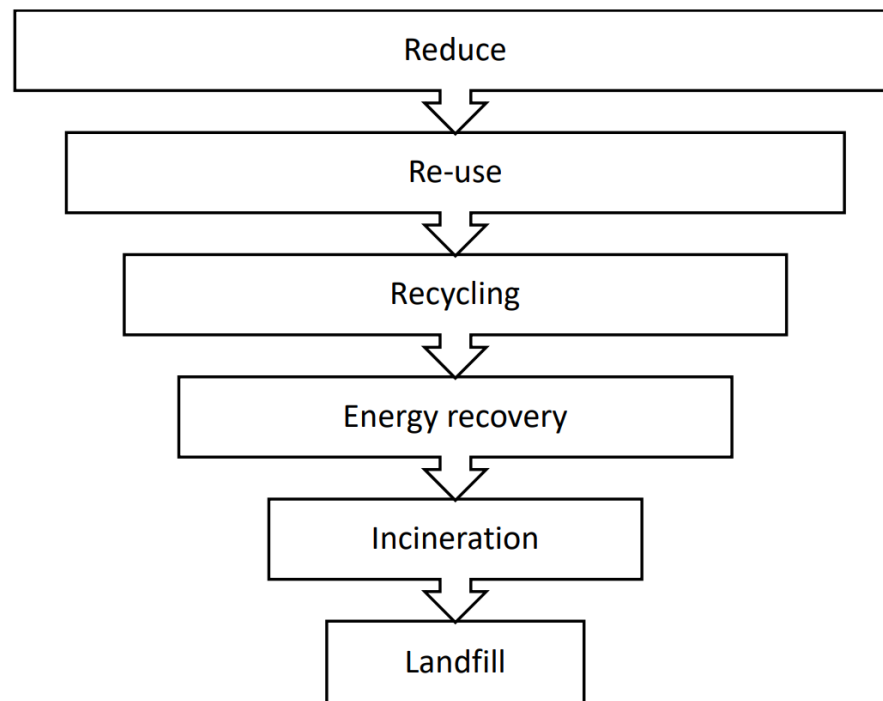


# Was haben wir bisher getan?



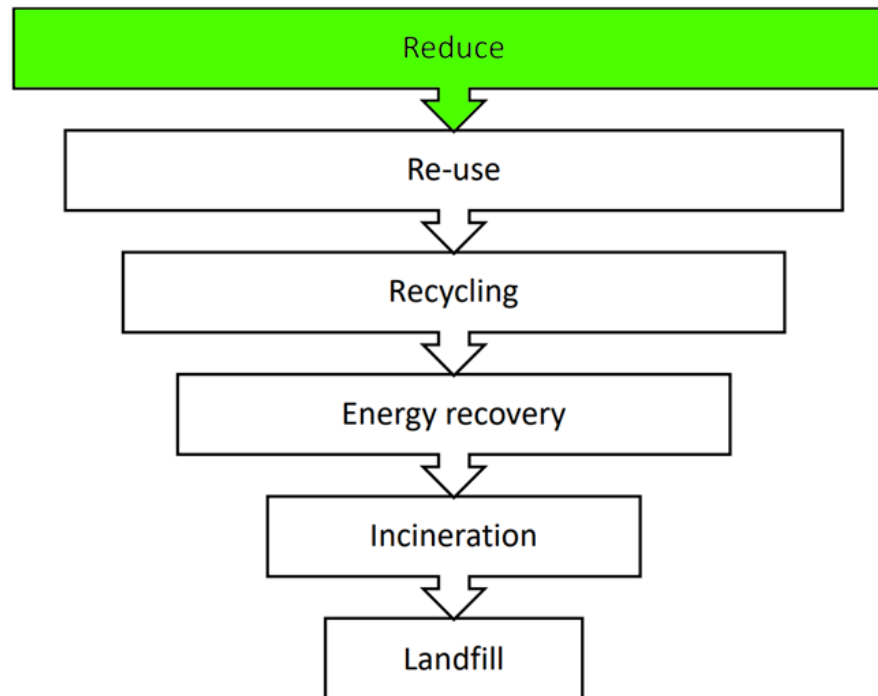
# Wie können wir uns verbessern?

- Welche sind die offiziellen Empfehlungen für die Abfallentsorgung?
- EU-Richtlinie 2008/98/EG: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung und Beseitigung
- Abfallhierarchie (Lansinks Leiter)



# Aktuelle Praktiken

- Hoch effiziente und optimierte Produktion minimiert Abfall.
- Hochwertige Produkte gewährleisten eine lange Lebensdauer, bevor sie ersetzt werden müssen.

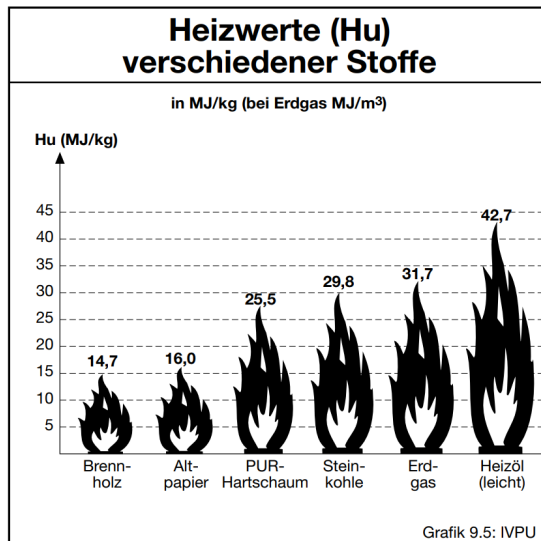


# Nachhaltiges PUR

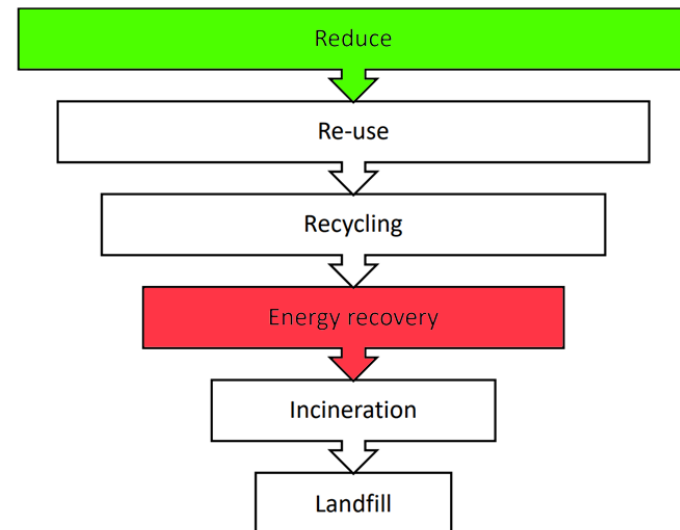
- PUR-Abfall ist besonders schwer zu recyceln.
- Bis vor etwa 20 Jahren galt allgemein die Auffassung, dass Verbrennung und Energie-Rückgewinnung die beste Praxis darstellen.

The European PU industry, specifically for rigid PU foam, consider the recovery of energy from scrap material PUR foam from construction and demolition waste to be the best disposal option as laid down in various position papers [71,72].

Kilde: Zevenhoven, 2004, Treatment and Disposal of Polyurethane Wastes: Options for Recovery and Recycling

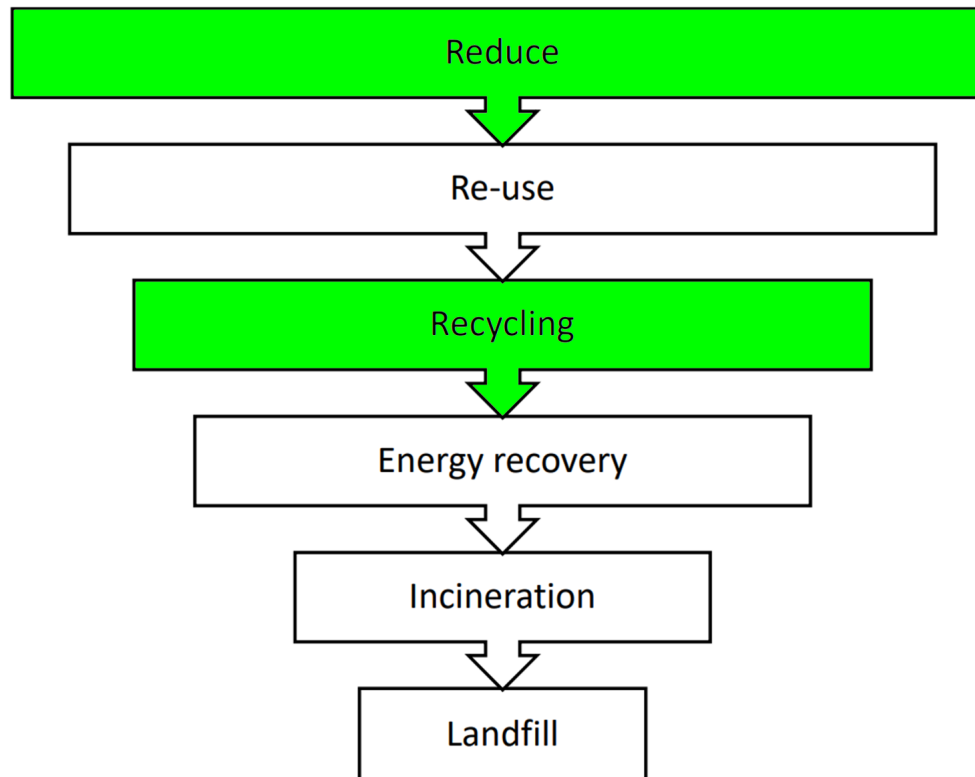


Die Heizwerte von PUR-Schaum im Vergleich zu anderen Energiequellen

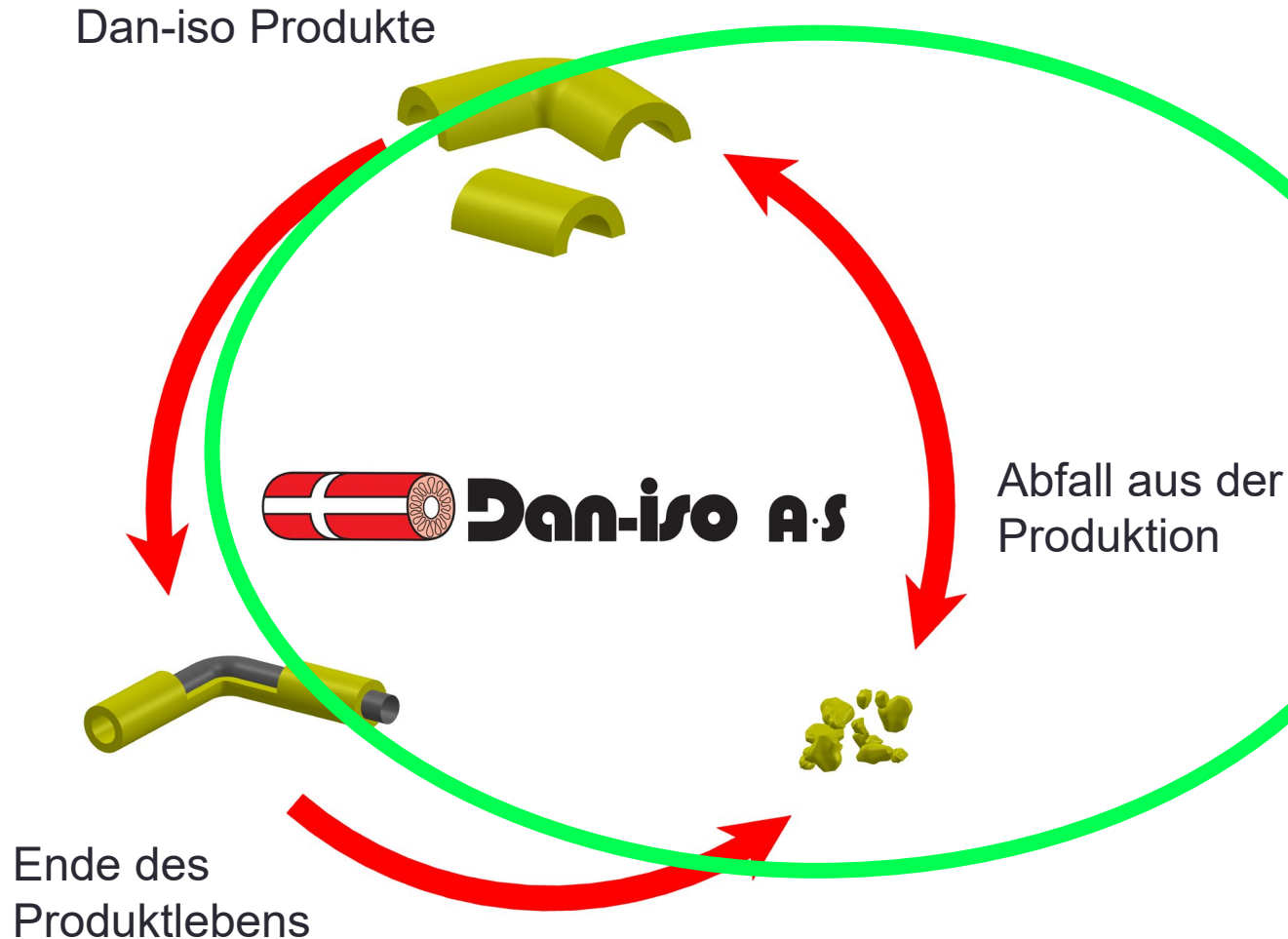


# Unsere Ziele für das Projekt

- Wir tun bereits viel, um den Materialeinsatz zu reduzieren.
- Wir möchten recyceln!



# Unsere Vision für das Projekt





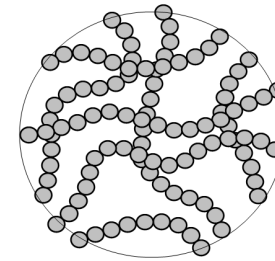
# Unsere Anforderungen

- Wir müssen in der Lage sein, unseren eigenen Abfall zu nutzen.
- Es muss profitabel sein.
- Es muss eine echte grüne Lösung sein.
- Die Prozesse müssen intern bleiben.
- Halte es einfach!

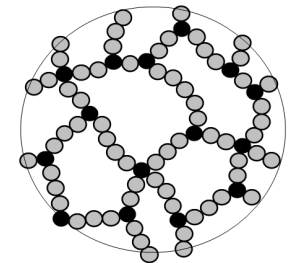


# In welche Richtung sollen wir gehen?

- PUR-Schäume können mit den gängigsten Methoden nicht recycelt werden.
- Thermohärtende Kunststoffe enthalten starke Vernetzungen, die das Recycling verhindern.
- Es gibt 4 Hauptstrategien für das Recycling.
- Was sollten wir wählen?
- Die naheliegendste Lösung.



Thermoplastische  
Kunststoffe



Thermohärtende  
Kunststoffe

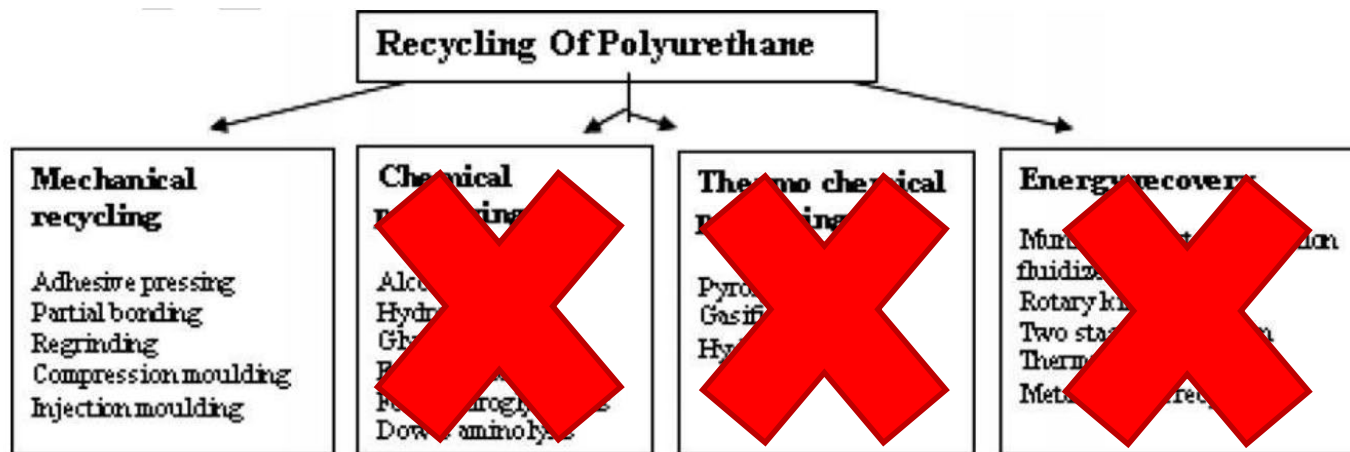


Fig. 1. Overview of options for polyurethane recycling [16].

# Mechanische Methoden

- Es ist einfach, Beispiele für die Anwendung dieser Methoden zu finden. Keine davon passt jedoch zu Dan-isos Produkten oder Produktionslinie."



Wiederverklebter flexible Schaumstoff



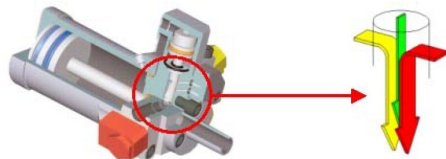
Recycelte PUR-Platte aus Sundby



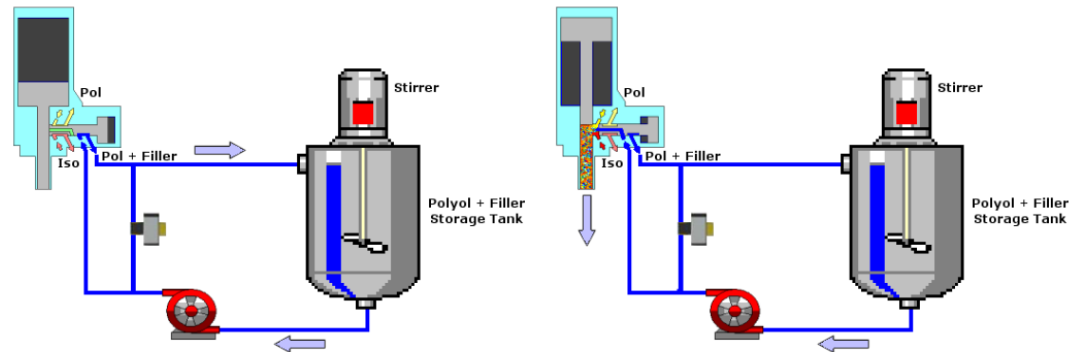
Beton mit PUR-Zuschlagstoffen  
[Václavík et al., 2012]

# Haben es andere versucht?

- Mehrere Beispiele finden sich in der Fachliteratur.
- Cannon Afros und Mobius Technologies haben Maschinenprototypen für diesen Zweck entwickelt.



Picture 7 - Cannon FPL /3 Mixing Head with High Efficiency Axial Components Mixing



Picture 8 – Cannon prototype filler injection kit layout showing recycling and pouring phases

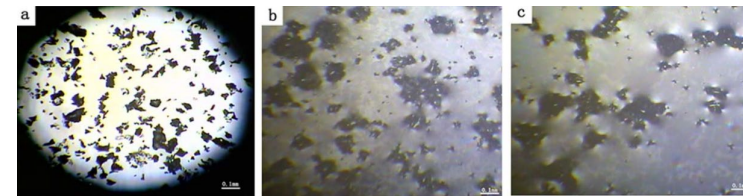
## Schlussfolgerungen:

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass recyceltes PU-Pulver in geformten Autositzen in Mengen von bis zu 7 % des Gesamtgewichts des Schaums verwendet werden kann. Mobius hat diese Menge ausgewählt, da in früheren Versuchen gezeigt wurde, dass bei dieser Menge die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der geformten Schaumteile nicht signifikant beeinträchtigt werden und die Sitzschäume weiterhin den spezifischen OEM-Spezifikationen für Autositze entsprechen.

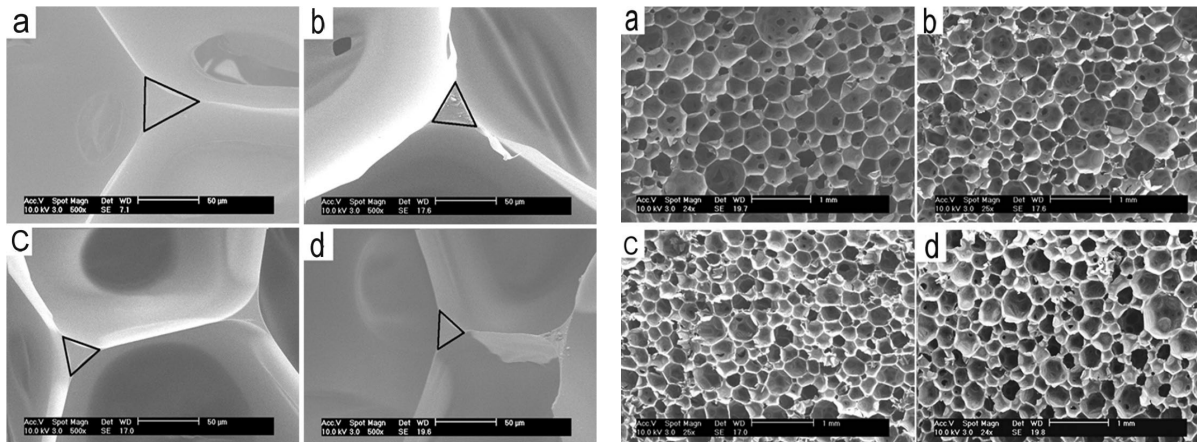
Kilde: ANDREOLLI, STEFANO & CHARIATI, CHRISTIAN & BERTHEVAS, PAUL & VILLWOCK, ROBERT. (2015). Innovative Filler Injection System for Powdered Recycled Urethane.

# Haben es andere versucht?

- Yang et al. (2013) erreichten bis zu 15 % recyceltes Pulvermaterial in einem starren Schaum (Fudan-Universität, Shanghai).
- Gute Eigenschaften wurden bei einem Pulvergehalt von 5 % und 10 % festgestellt.
- Um 15 % zu erreichen, sind mehrere zusätzliche Prozesse und Zusatzstoffe erforderlich.



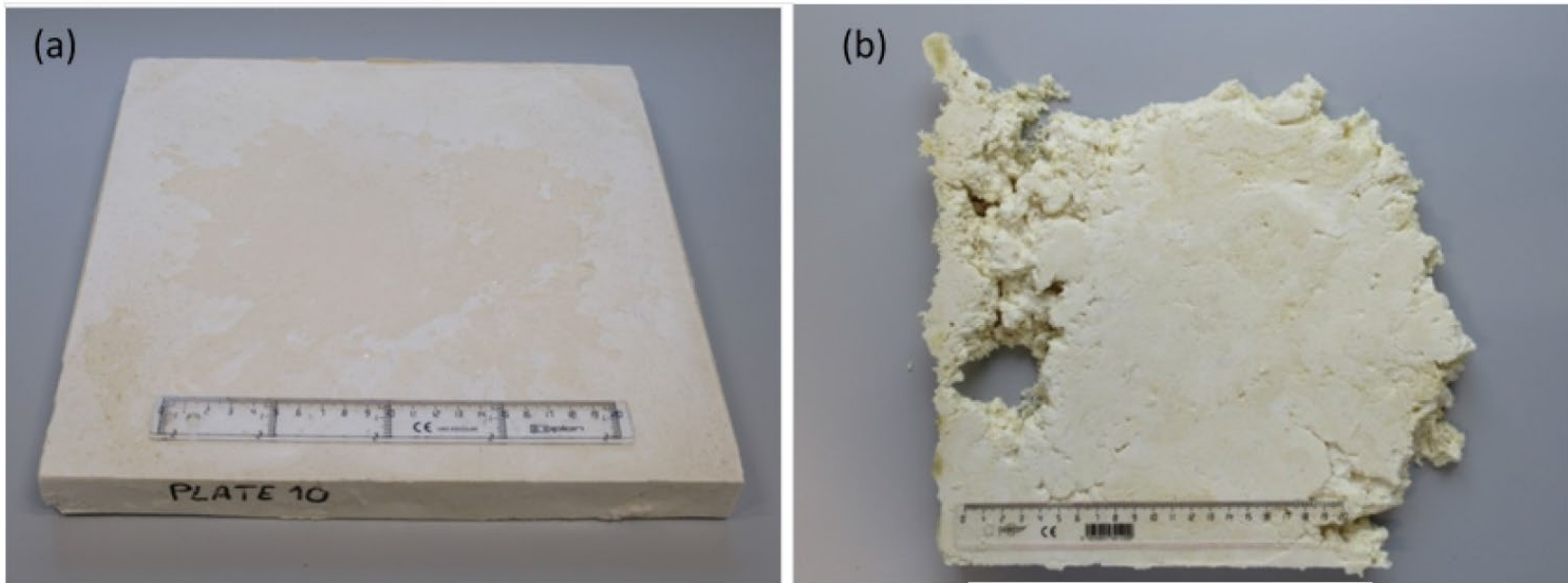
Dispersierung von Partikeln in Polyol



Schaumstruktur mit verschiedenen Anteilen an recyceltem Material.

# Haben es andere versucht?

- Aranberri et al. (2022) erreichten bis zu 5 % mit guten Ergebnissen.
- Sie empfehlen bis zu 3 % für die besten Ergebnisse.
- Die meisten Quellen nennen eine Spanne von 3 bis 10 % als maximalen Anteil an recyceltem Material.
- Einige Quellen erwähnen bis zu 15 % recyceltes Material, jedoch erfordert dies teure und komplexe Prozesse.
- Dan-iso sah dies als eine lohnenswerte Herausforderung an.



(a) Plates of rigid polyurethane foams with 3 wt% and (b) 10 wt% of recycled polyurethane foam powder.

[Aranberri et al. 2022]

# Vorläufige Experimente

- Selbst bei geringen Mengen PUR-Pulver wird die Flüssigkeit sehr zähflüssig.
- Dies stellt eine große Herausforderung für bestehende Maschinen dar.
- Es ist also doch nicht so einfach.

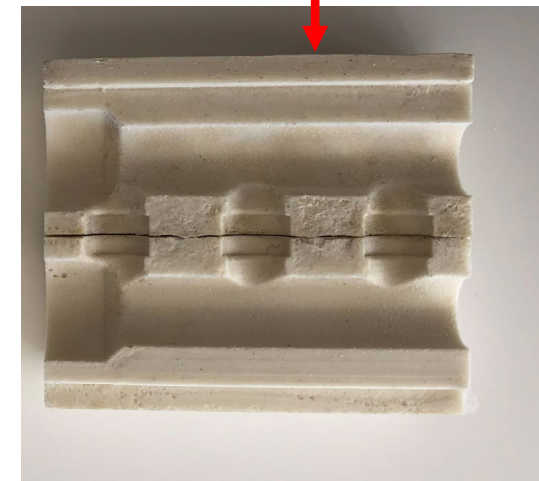
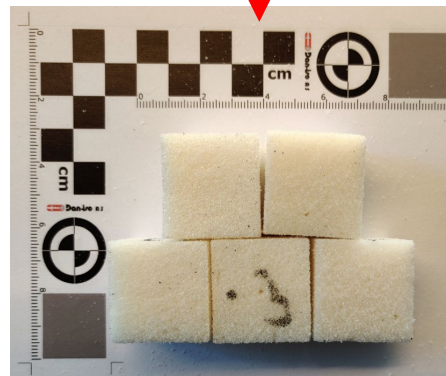


Sample	Polyol	Polyol/ PPU5wt%	Polyol/ PPU10wt%	Polyol/ PPU15wt%
Viscosity (mPa s)	1900	3400	5480	>10,000

Viskosität des Polyols mit PUR-Pulver  
[Yang et al., 2013]

# Inkrementelle Entwicklung

- Kleine Mengen an Recyclingmaterial zu Beginn (2-3%)
- Langsamer, aber stetiger Fortschritt bis zu 25% und darüber hinaus
- Immer mit Fokus auf die Produktion,
- Das Ziel war immer ein marktfähiges Produkt.





# Identifikation der Schlüsselparameter

## Eingabeparameter:

- Treibmittel
- Mischmethoden
- Partikeloberfläche
- Partikelgröße

## Materialparameter:

- Dichte
- Druckfestigkeit
- Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ )
- Steifheit

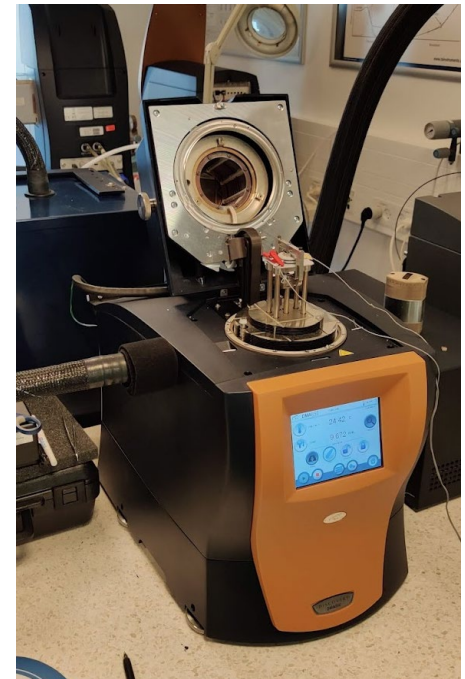
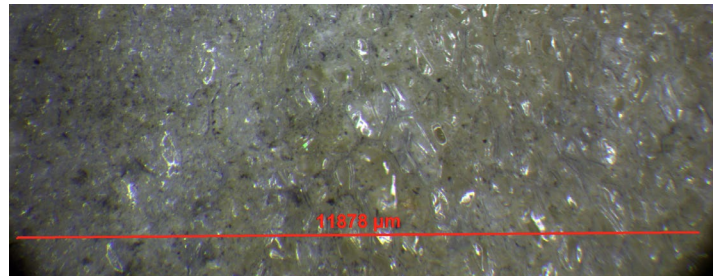
## Produktionsparameter:

- Interaktion mit verschiedenen Formgeometrien
- Interaktion der Prozesse mit unseren eigenen Maschinen
- Zusätzliche Prozesse, die implementiert werden müssen



# Materialtests

- Die Materialeigenschaften und die Produktionsparameter, die sie beeinflussen, wurden durch verschiedene Methoden in Zusammenarbeit mit der Aalborg Universität, Institut für Materialien und Produktion, untersucht.
- Ein laufendes Studentenprojekt befasst sich mit der Automatisierung wichtiger Prozesse zur Einrichtung einer Serienproduktion.



# Wo ist Dan-iso?

Zwei Tracks:

Track 1: 40% bis 45% recyceltes Material

**Vorteile:**

- Hoher Anteil an recyceltem Material
- Erfordert nur wenige neue Prozesse
- Kann in unserer bestehenden Produktionslinie implementiert werden
- Gute Druckfestigkeit
- Materialausnutzung ~95%

**Nachteile:**

- Lambda-Werte steigen leicht an (2-3 mW/m·K)
- Kosmetische Unterschiede im Vergleich zu neuem Schaumstoff

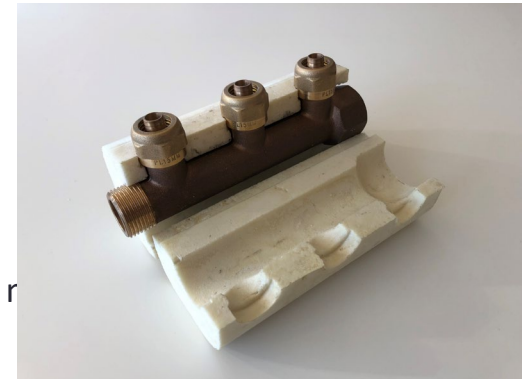
Track 2: 23% to 27% recycled material

**Vorteile:**

- Sehr gute Isolierung
- Einige Messungen zeigen leicht bessere Werte als reiner Schaumstoff (1-2 mW/m·K)
- Sehr flexibel in Bezug auf unterschiedliche Geometrien
- Materialausnutzung ~97%

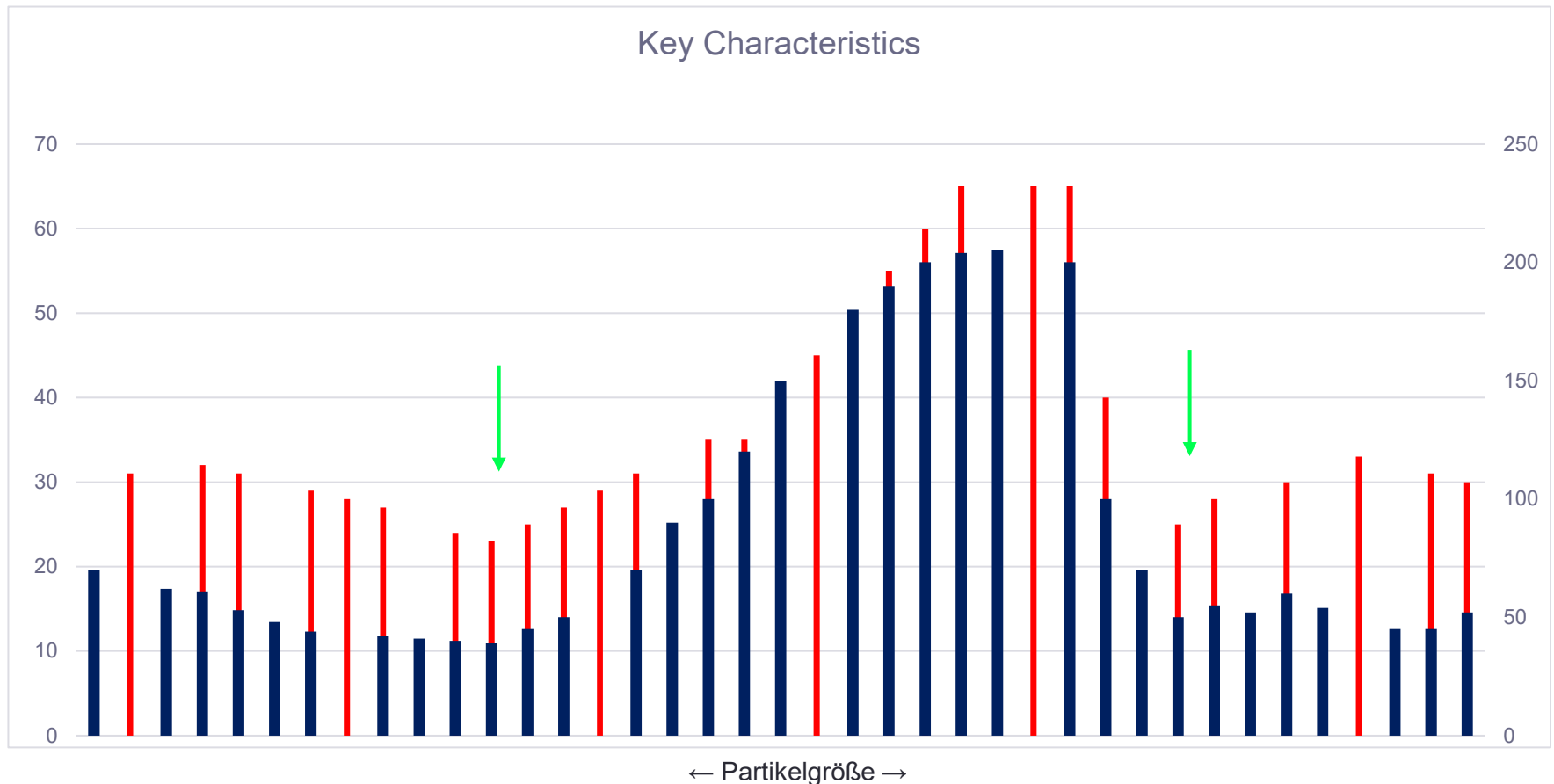
**Nachteile:**

- Reduzierte Druckfestigkeit im Vergleich zu neuem Schaumstoff
- Erfordert mehrere neue Prozesse
- Erfordert die Entwicklung und Erprobung neuer Maschinen und Prozesse



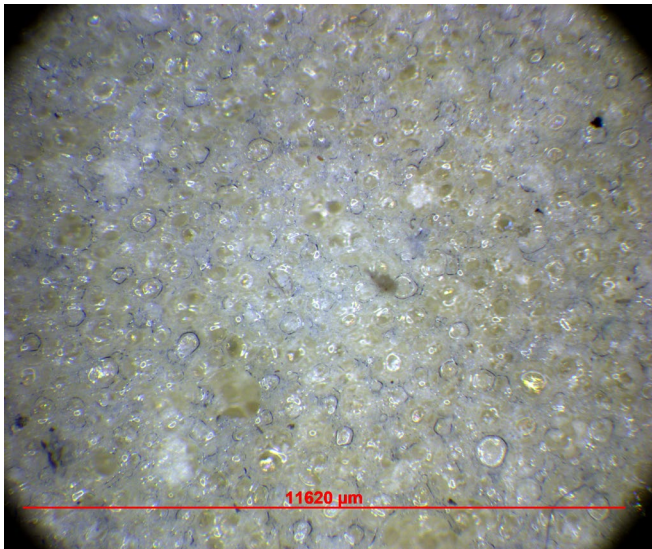
# Warum zwei Tracks?

- Die optimalen Bereiche beider Eigenschaften fallen zusammen.
- Auch andere Eigenschaften wie die Druckfestigkeit erreichen an diesen "Sweet-Spots" ihr Maximum.
- "Irgendetwas" geschieht in diesem Bereich.

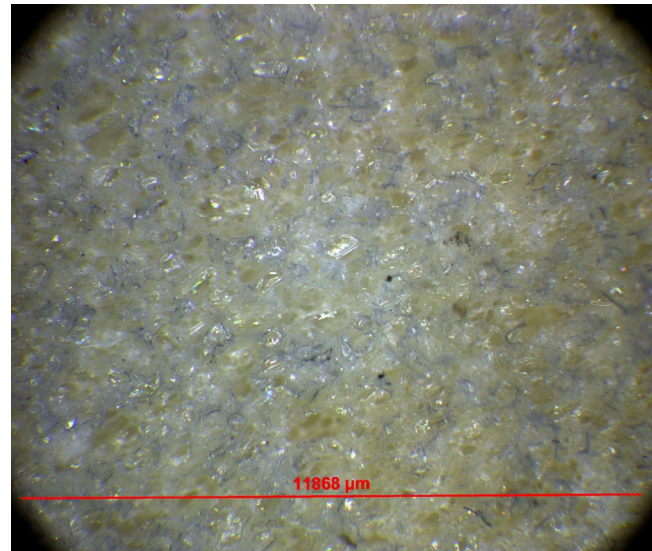


# Warum genau dort?

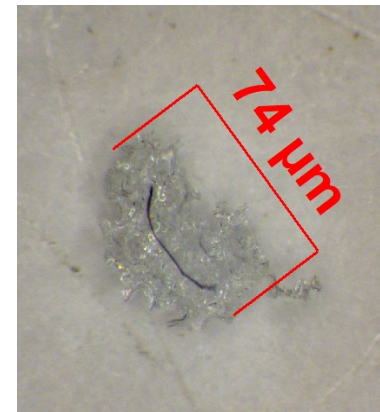
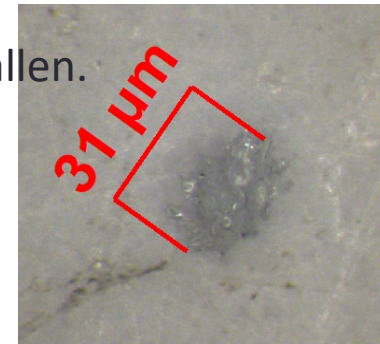
- Wir wissen es noch nicht sicher.
- Wir sehen eine sehr gleichmäßige Verteilung der Partikel in beiden Fällen.
- Die charakteristische Oberfläche der Partikel passt zur Zellgröße.
- Gut für das Aufschäumen.
- Gute "Packung" der Partikel in der flüssigen Phase.
- Und nicht zuletzt passen beide Bereiche zu unseren Produktionskapazitäten.



Mikroskopische Struktur von unverarbeitetem Schaum



Mikroskopische Struktur von Schaumstoff mit 25 % PUR



Partikel unter dem Mikroskop

# Warum genau dort?

Für kleine Partikel:

- Wir beobachten eine sehr gleichmäßige Verteilung der Partikel.
- Die charakteristische Oberfläche der Partikel passt zur Zellstruktur.
- Dies führt zu einer guten Schaumbildung.
- Die Partikel in der flüssigen Phase sind gut verteilt.

Pore structure of 15% sample

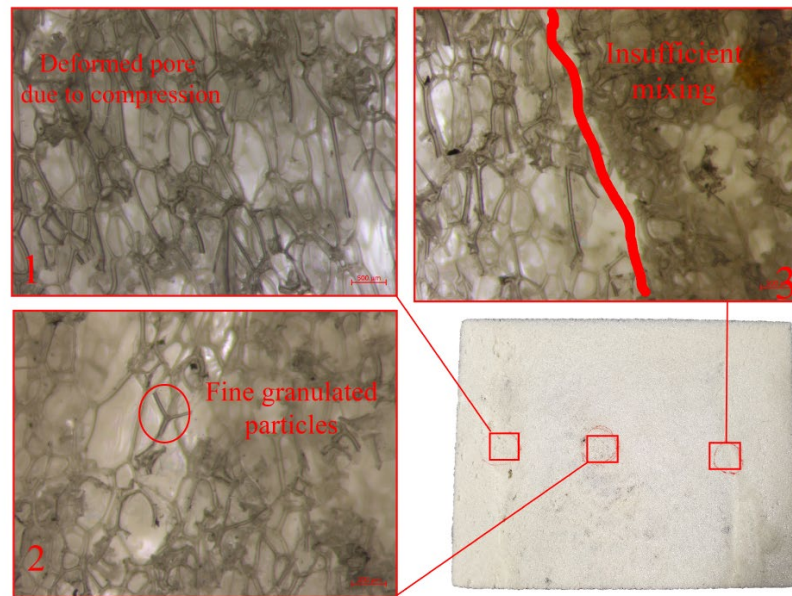


Figure G.2. Fine granulated 15% sample

Mikroskopische Struktur von Schaumstoff mit 15% Recyclinganteil.

# Warum genau dort?

Für große Partikel:

- Die Partikelgröße ermöglicht den Fluss der flüssigen Phase
- Die charakteristische Oberfläche der Partikel hat eine begrenzte Wärmeenergieaufnahme.
- Gut für das Aufschäumen.
- Nicht zuletzt sind beide Techniken für die Produktion geeignet.

Pore structure of 35% coarse granulated sample

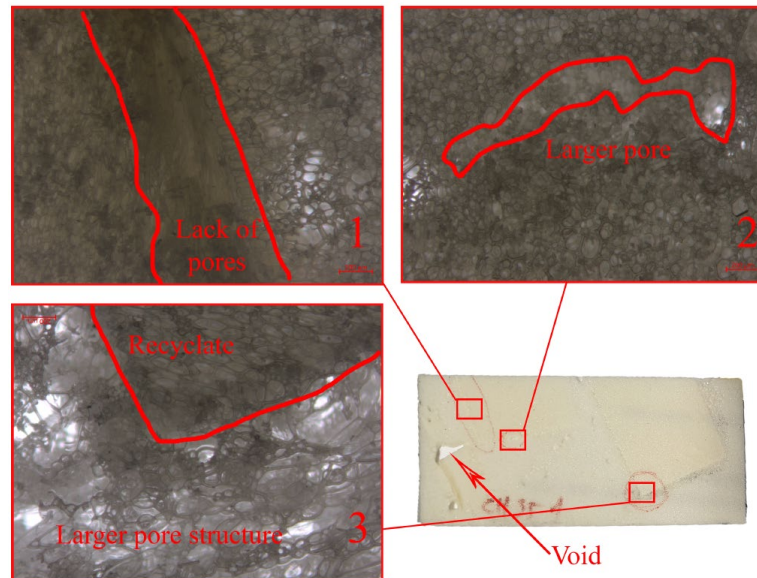


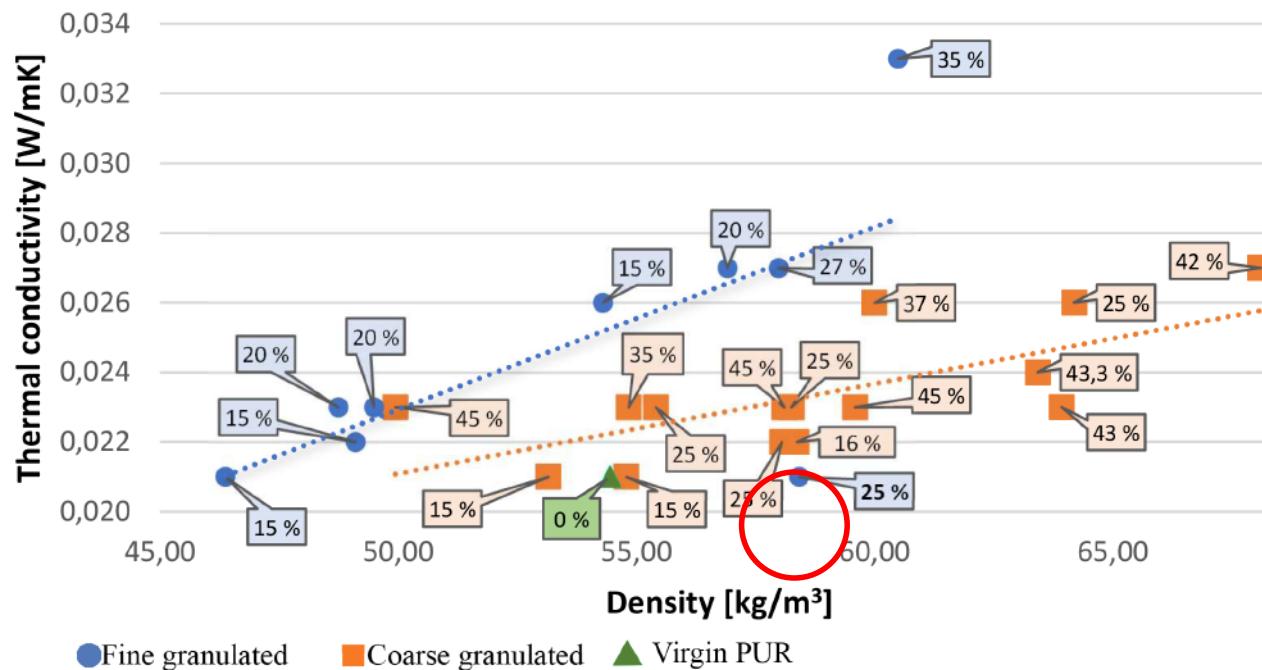
Figure G.7. Coarse granulated 35% sample

Mikroskopische Struktur von Schaumstoff mit 35% Recyclinganteil

# Detaillierte parametrische Studie

- Die mechanischen und thermischen Eigenschaften bei verschiedenen Recyclinganteilen und Produktionsverfahren wurden untersucht.
- Mit den neuesten Produktionsverfahren erreichen wir herausragende Isolierwerte mit bis zu 25% Regenerat.

**Thermal conductivity measurements**





# Vorläufige Umweltproduktdeklaration (EPD)

- Eine vorläufige Umweltproduktdeklaration (EPD) wurde in Zusammenarbeit mit der Aalborg Universität erstellt.
- Die EPD zeigt bedeutende Verbesserungen im Vergleich zu Standard-PUR.

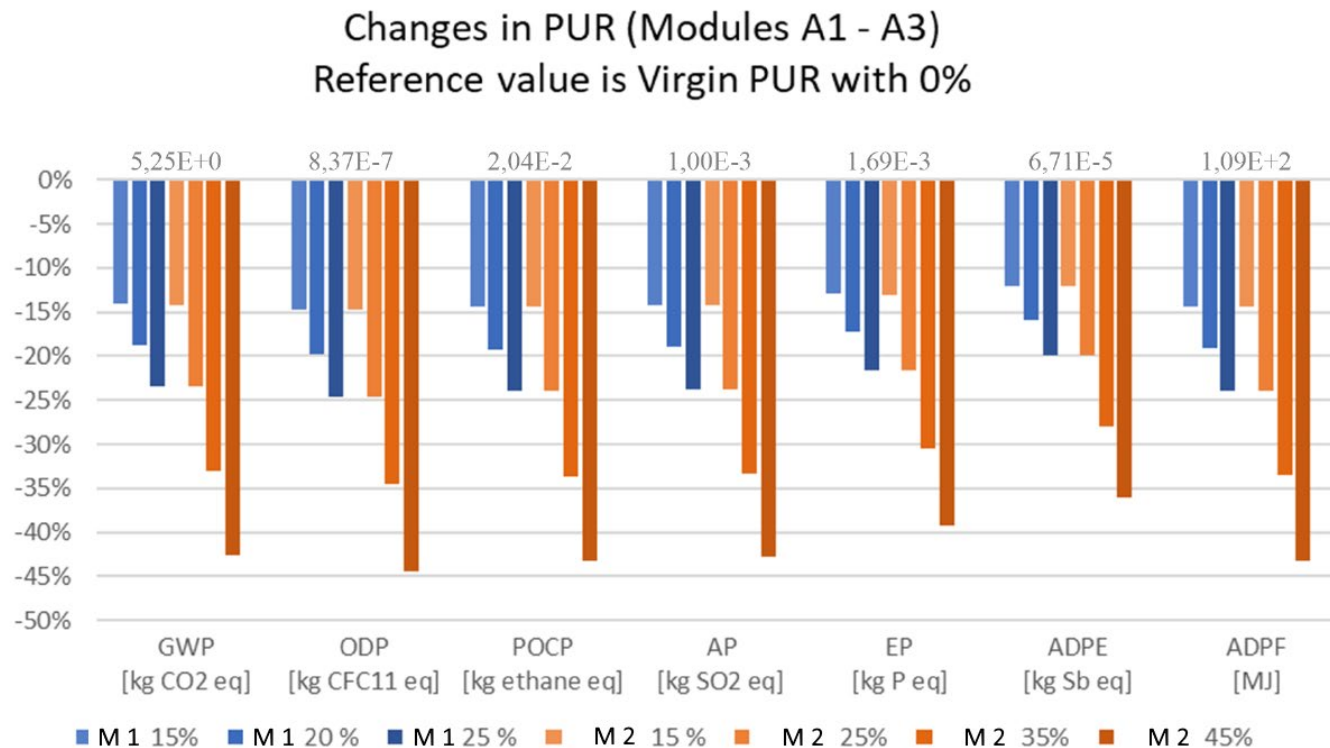
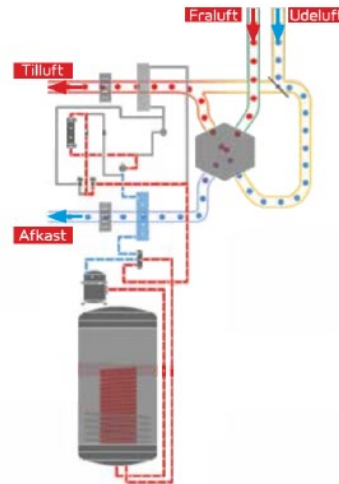


Figure G.3. Changes in PUR (Modules A1 - A3)

# Was kommt als Nächstes?

- Ein tieferes Verständnis erlangen, um den Anteil an recyceltem Material zu erhöhen
- Fortfahren auf beiden Pfaden
- Praktische Anwendungen erkunden
- Projekt mit AAU Build (DHW und Energieausgaben)
- Nachhaltigkeit untersuchen
- Projekt mit AAU Build zur Material-Ökobilanz (LCA)
- Automatisierung unserer beiden stabilen Prozesse



# Kreislaufprodukte

Dan-iso Produkte  
(bis zu 40% recyceltes Material)

