

Modellierung von Baumaterialien im Gebäudebestand

Tim Hummel, Oskar Herbst, **Carlo Schmid**, und Stefanie Hellweg

Fachsymposium Zirkuläres Bauen, 21. Mai 2026

CC BY 4.0

Photo by J. Nanista on Unsplash



Source: own.

CC BY 4.0

Baujahr: 1946



Source: own.

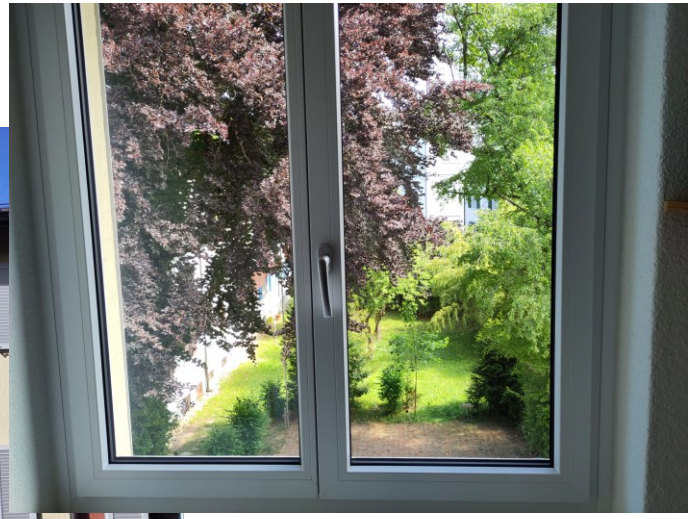
CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Baujahr: 1946



Source: own.



Source: own.

Fenster: 2016

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Motivation

- Wiederverwendung von Fenstern kann **Emissionen senken**
- Für die Umsetzung im grossen Stil braucht es **detaillierte Informationen**
- Informationen zu Fenstern **fehlen in nationalen Gebäuderegistern**



Source: own.

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Wieso Fenster?

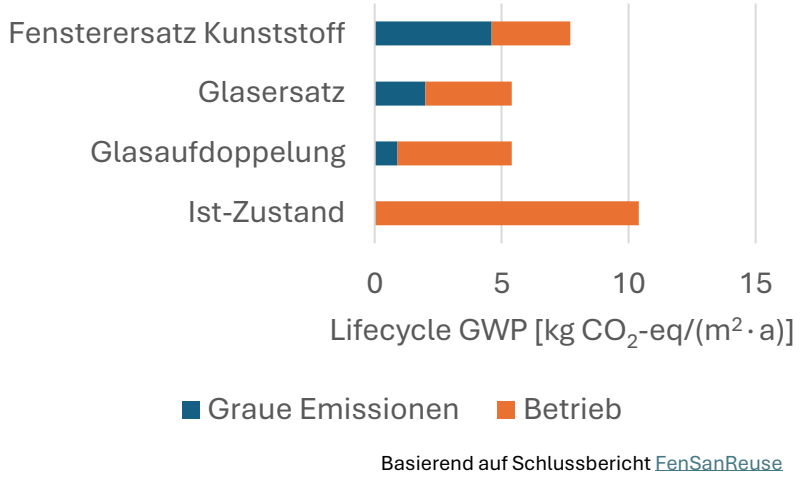
- Fenster sind für Grossteil der **Wärmeverluste** verantwortlich

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Wieso Fenster?

- Fenster sind für Grossteil der **Wärmeverluste** verantwortlich
- **Trade-Off** zwischen grauen und operativen Emissionen



Basierend auf Schlussbericht FenSanReuse

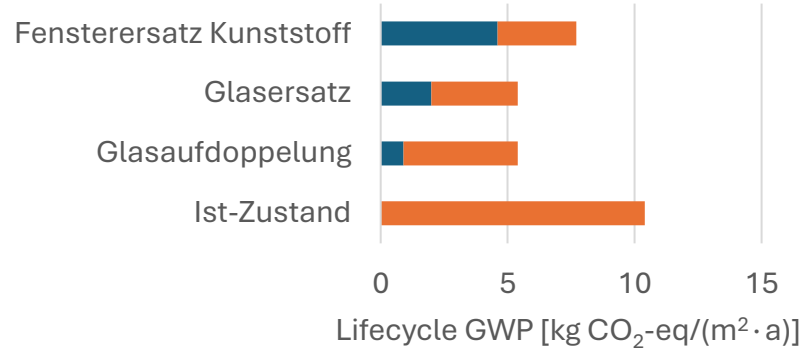
CC BY 4.0

May 2026

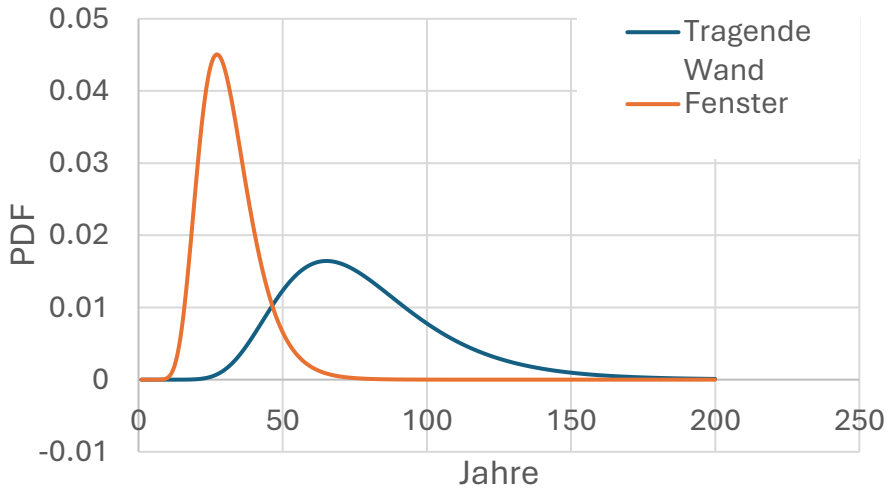
Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Wieso Fenster?

- Fenster sind für Grossteil der **Wärmeverluste** verantwortlich
- **Trade-Off** zwischen grauen und operativen Emissionen
- Kürzere **Renovationszyklen**



Basierend auf Schlussbericht FenSanReuse



Lognormal parameters based on Goulouti et al. (2021)

CC BY 4.0

May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Datenquelle: Gebäudeenergieausweise

- Gebäudeenergieausweise für **wachsende Anzahl Gebäude**

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Datenquelle: Gebäudeenergieausweise

- Gebäudeenergieausweise für **wachsende Anzahl Gebäude**

> 100’000

> 10 Mio.



Map icons by Rahe via CC BY 3.0

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Datenquelle: Gebäudeenergieausweise

- Gebäudeenergieausweise für **wachsende Anzahl Gebäude**

> 100’000

- Enthalten mehr oder weniger detaillierte **Informationen zur Gebäudehülle**

> 10 Mio.



Map icons by Rahe via CC BY 3.0

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Datenquelle: Gebäudeenergieausweise

- Gebäudeenergieausweise für **wachsende Anzahl Gebäude**

> 100’000

- Enthalten mehr oder weniger detaillierte **Informationen zur Gebäudehülle**
- Wurden bislang v.a. für **Energieforschung** verwendet

> 10 Mio.



Map icons by Rahe via CC BY 3.0

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Vorgehen

> 100‘000 Gebäude-energieausweise (GEAK) → **Datensatz: > 40‘000 Gebäude**

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Vorgehen

> 100‘000 Gebäude-energieausweise (GEAK) → **Datensatz: > 40‘000 Gebäude**

Information:
„3-fache Wärmeschutz-verglasung, Holz-/Metallrahmen, Jg. 2007“

+ Flächen
+ U-Werte
+ Ausrichtung

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Vorgehen

Automatische Extraktion

> 100‘000 Gebäude-energieausweise (GEAK) → **Datensatz: > 40‘000 Gebäude**

Information:
„3-fache Wärmeschutz-verglasung, Holz-/Metallrahmen, Jg. 2007“

+ Flächen
+ U-Werte
+ Ausrichtung

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Vorgehen

Automatische Extraktion

> 100‘000 Gebäude-energieausweise (GEAK) → **Datensatz: > 40‘000 Gebäude**

Information:
„3-fache Wärmeschutz-verglasung, Holz-/Metallrahmen, Jg. 2007“

+ Flächen
+ U-Werte
+ Ausrichtung

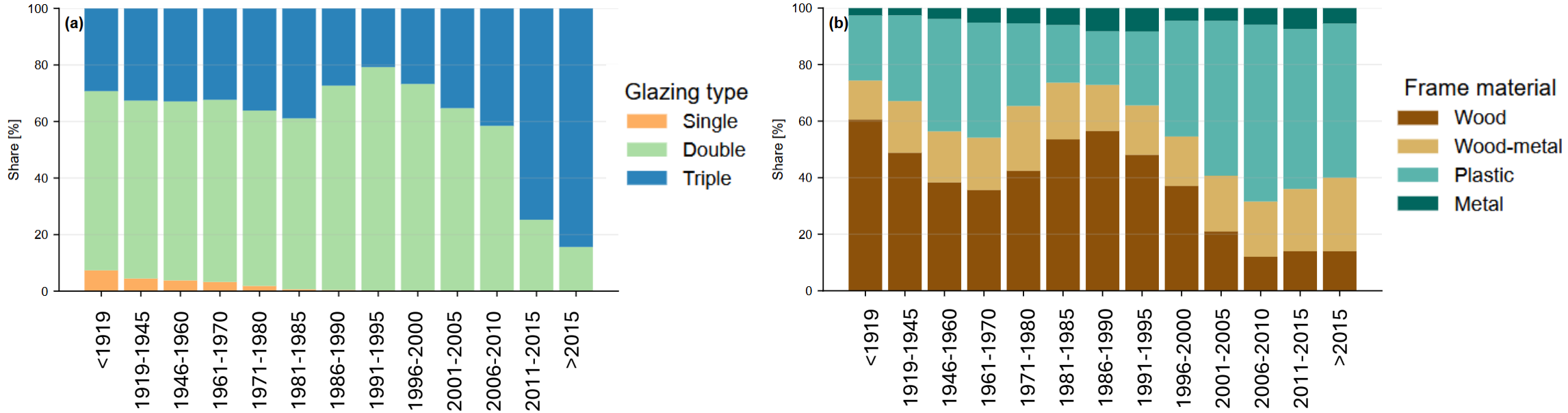
Verglasung: 3-fach
Rahmen: Holz-Metall
Jahrgang: 2007

+ Flächen
+ U-Werte
+ Ausrichtung

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zeitliche Entwicklung



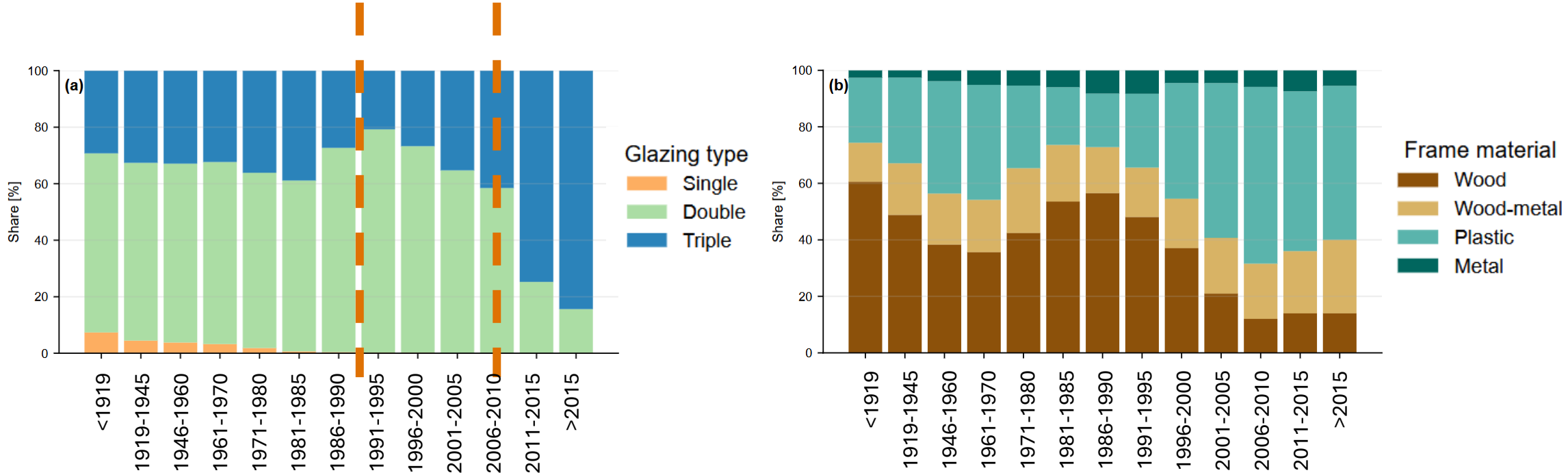
CC BY 4.0

May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zeitliche Entwicklung

Energievorschriften



CC BY 4.0

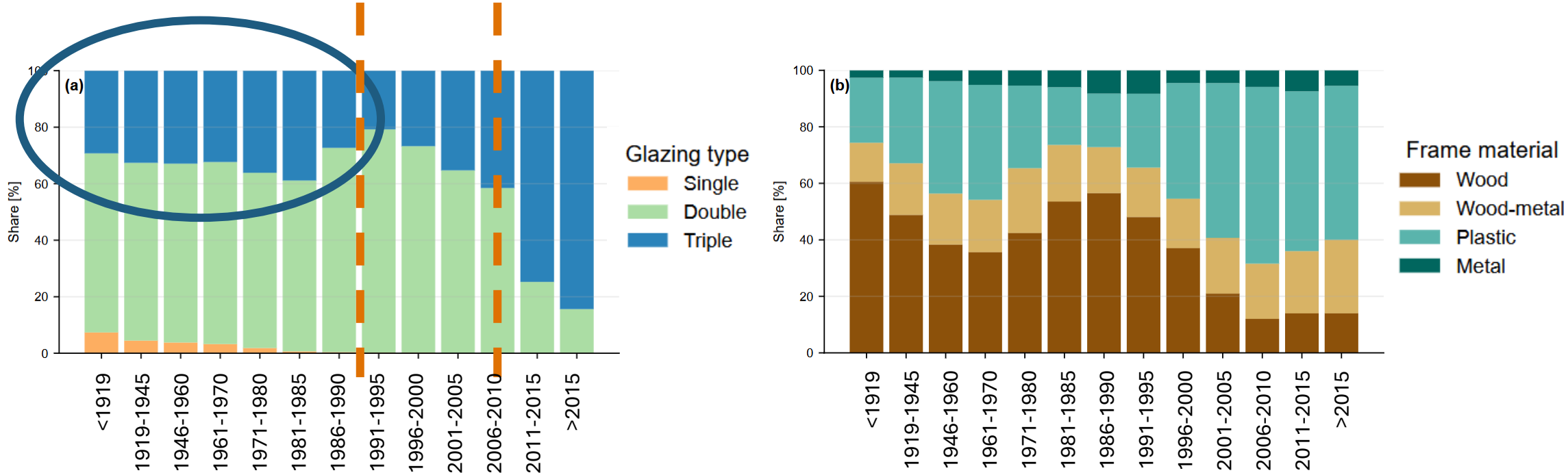
May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zeitliche Entwicklung

Bereits renovierte Fenster

Energievorschriften



CC BY 4.0

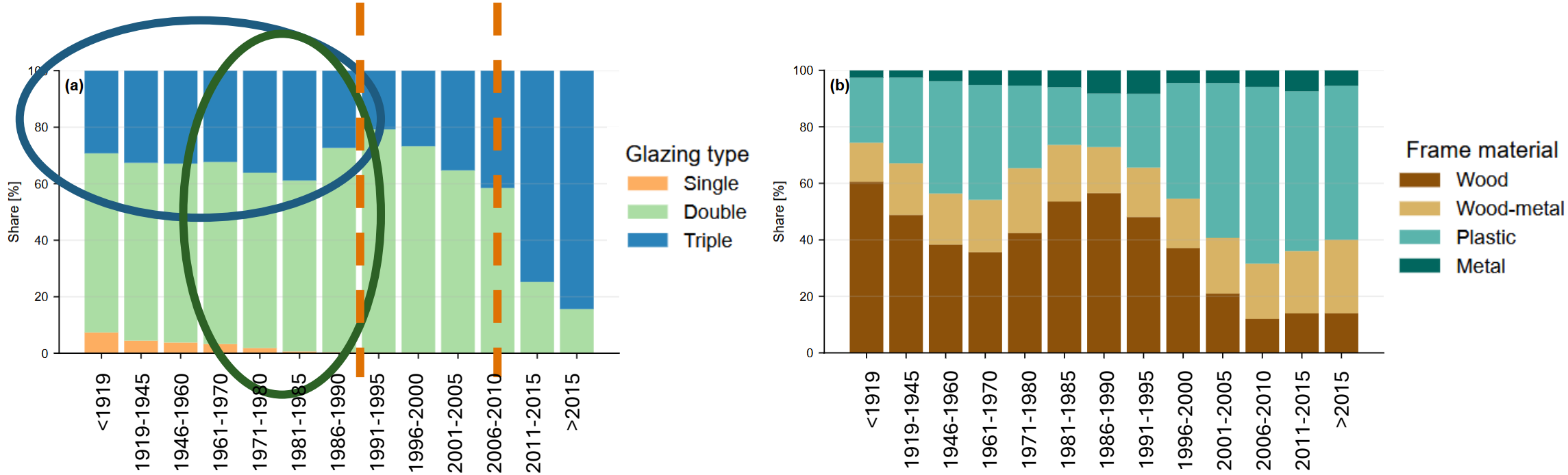
May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zeitliche Entwicklung

Bereits renovierte Fenster

Energievorschriften



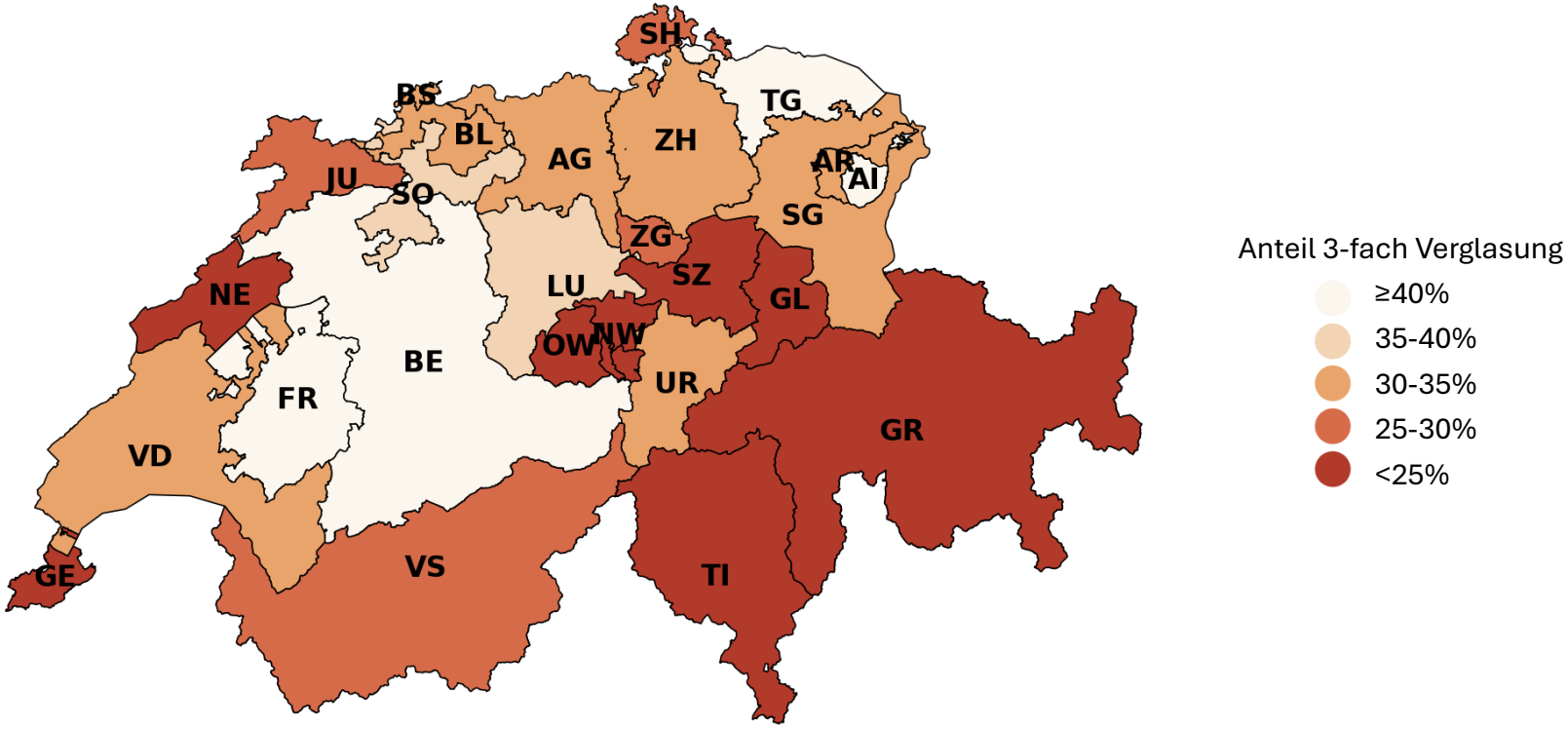
Gebäude mit höchstem Abriss-Risiko

CC BY 4.0

May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Geografische Verteilung



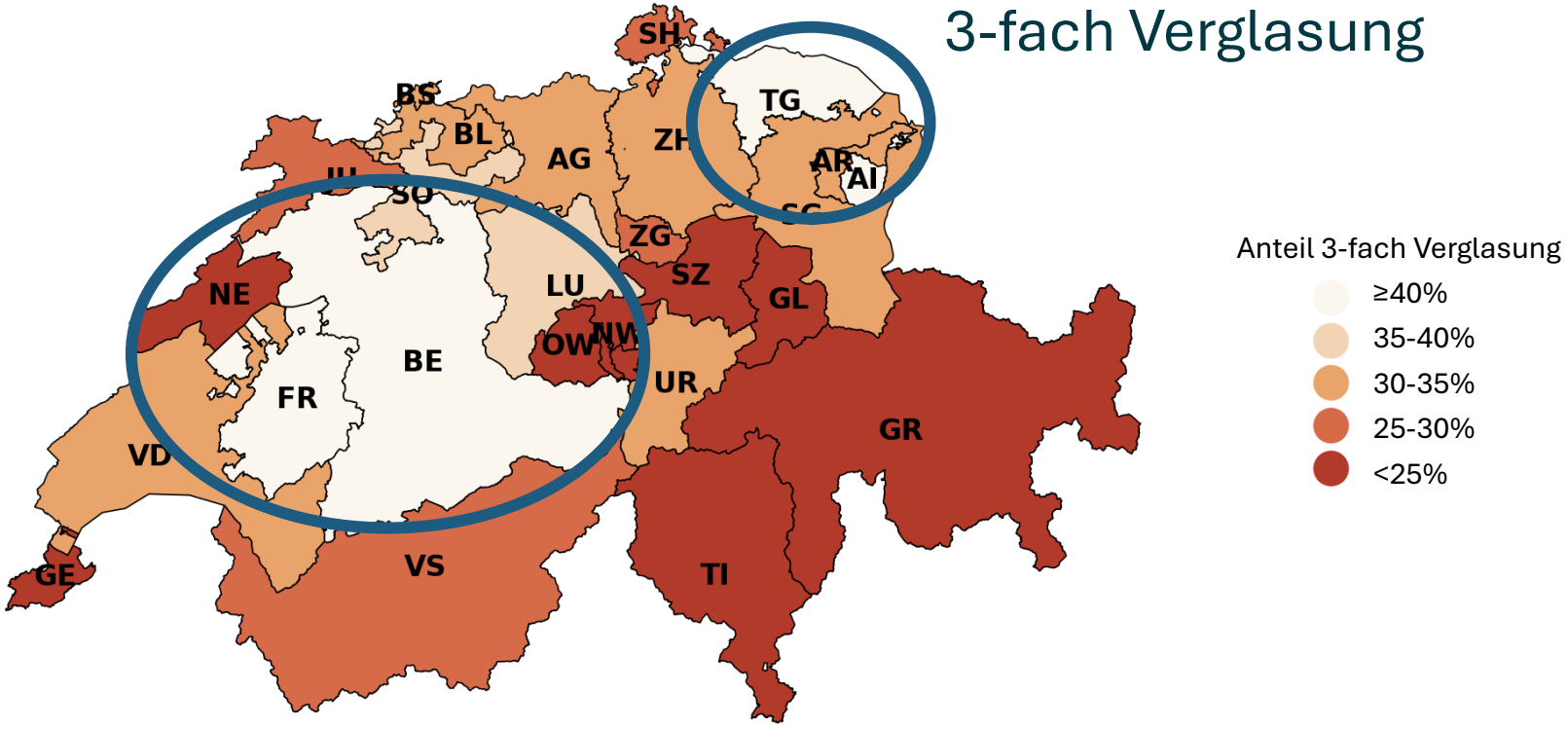
CC BY 4.0

May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Geografische Verteilung

Kantone mit hohem Anteil 3-fach Verglasung



CC BY 4.0

May 2026

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Resultate: Prädiktives Modell



Source: own.

Gebäudemerkmale

CC BY 4.0

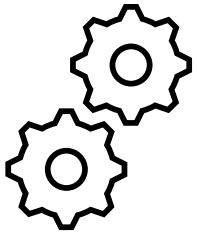
Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Resultate: Prädiktives Modell



Source: own.

Gebäudemerkmale



Machine Learning Modell



Source: own.

Rahmen + Verglasungstyp

CC BY 4.0

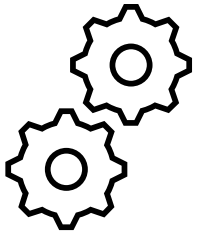
Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Resultate: Prädiktives Modell



Source: own.

Gebäudemerkmale



Machine Learning Modell



Source: own.

Rahmen + Verglasungstyp

Suchen Sie Fenster mit 3-fach Verglasung, die bald abgerissen werden?
MFH mit Baujahr zwischen 1980 und 1985 in der Westschweiz haben eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit !

CC BY 4.0

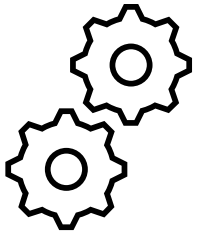
Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Resultate: Prädiktives Modell



Source: own.

Gebäudemerkmale



Machine Learning Modell



Source: own.

Rahmen + Verglasungstyp

75.6%
der Gebäude mit Dreifach-Verglasung werden korrekt identifiziert

Suchen Sie Fenster mit 3-fach Verglasung, die bald abgerissen werden?
MFH mit Baujahr zwischen 1980 und 1985 in der Westschweiz haben eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit !

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

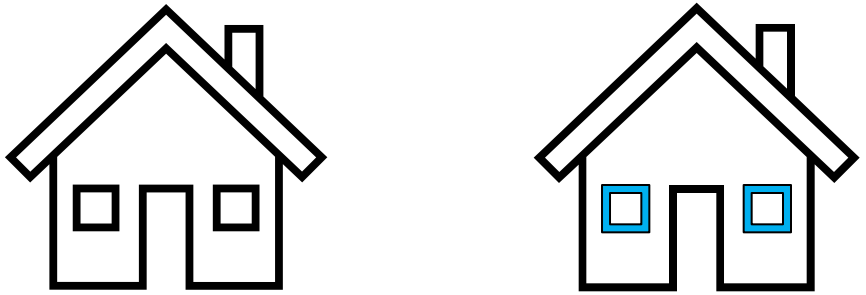
- Renovationsjahr ist **wichtigstes prädiktives Merkmal**

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

- Renovationsjahr ist **wichtigstes prädiktives Merkmal**



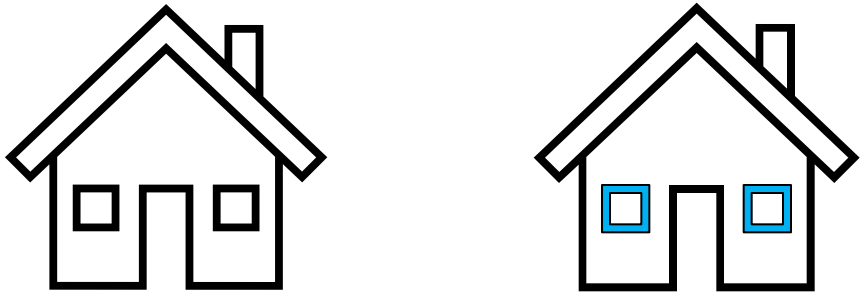
CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

- Renovationsjahr ist **wichtigstes prädiktives Merkmal**

- **Keine Informationen zu Renovation** der Gebäudehülle in Gebäuderegister

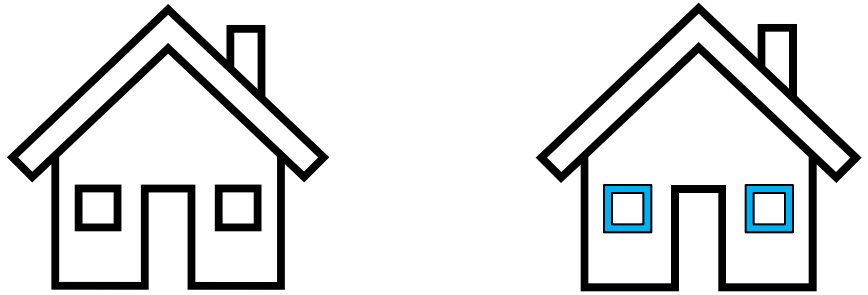


CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

- Renovationsjahr ist **wichtigstes prädiktives Merkmal**
- **Keine Informationen zu Renovation** der Gebäudehülle in Gebäuderegister
- Renovationsjahr **in nur ca. 20%** der Gebäude mit Gebäudeenergieausweis

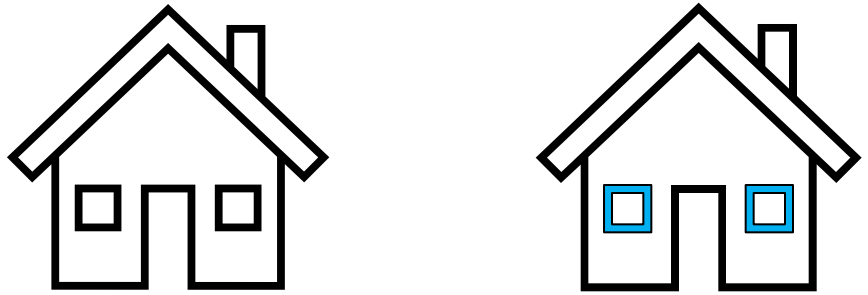


CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Challenge: Renovationsjahr

- Renovationsjahr ist **wichtigstes prädiktives Merkmal**
- **Keine Informationen zu Renovation** der Gebäudehülle in Gebäuderegister
- Renovationsjahr **in nur ca. 20%** der Gebäude mit Gebäudeenergieausweis



Benötigen mehr Daten!

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Ausblick

Künstliche Intelligenz / Computer Vision



Source: own.

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Ausblick

Künstliche Intelligenz / Computer Vision



Source: own.

Bisherige Forschung:

Fensteranteil

Fassadenmaterial

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Ausblick

Künstliche Intelligenz / Computer Vision



Source: own.



Source: own.

Bisherige Forschung:

Fensteranteil

Fassadenmaterial

Ziel:

Renovationsjahr

U-Werte

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zusätzliche Anwendung



Source: own.

Renovationsjahr

U-Werte

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zusätzliche Anwendung

Welche Gebäude haben Gebäudehülle **noch nicht renoviert**?



Source: own.

Renovationsjahr

U-Werte

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zusätzliche Anwendung

Welche Gebäude haben Gebäudehülle **noch nicht renoviert**?

Könnten somit von **Subventionen** profitieren?



Source: own.

Renovationsjahr

U-Werte

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Zusätzliche Anwendung

Welche Gebäude haben Gebäudehülle **noch nicht renoviert**?

Könnten somit von **Subventionen** profitieren?

Städte und Gemeinden **fehlen Informationen** dazu



Source: own.

Renovationsjahr

U-Werte

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Schlussfolgerungen

Für Reuse Planer:innen
und Bauherr:innen



Source: own.

Source: own.

- Gezielte Bauteil-Suche
- Planungssicherheit durch Angebotsmodellierung

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Schlussfolgerungen

Für Reuse Planer:innen und Bauherr:innen



Source: own.

Source: own.

- Gezielte Bauteil-Suche
- Planungssicherheit durch Angebotsmodellierung

Für die Politik

Map icons by Rahe via CC BY 3.0

- Plattform für bald abgerissene Gebäude
- Obligatorisches Reuse Screening

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Schlussfolgerungen

Für Reuse Planer:innen und Bauherr:innen



Source: own.

Source: own.

- Gezielte Bauteil-Suche
- Planungssicherheit durch Angebotsmodellierung

Für die Politik

Map icons by Rahe via CC BY 3.0

- Plattform für bald abgerissene Gebäude
- Obligatorisches Reuse Screening

Für Klima und Kreislaufwirtschaft



- Graue Emissionen sparen
- Lebenszyklus verlängern

CC BY 4.0

Hummel T, Herbst O, Schmid C, Hellweg S (2026): *Characterising the Swiss window stock and retrofit potential using machine-learning*, J. Ind. Ecol. (in review)

Danke für die Aufmerksamkeit!

Carlo Schmid

Doktorand

schmicar@ethz.ch

ETH Zürich

Lehrstuhl für Ökologisches Systemdesign

HIF D 11

Laura-Hezner-Weg 7

8093 Zürich Switzerland

Linkedin

CC BY 4.0