



An Exploratory Study in Participative Resilience Engineering Using Small FRAM Models

FAMILY 2026

Open Track

Munich, 15-17 June 2026

Thomas Mühlbradt
FOM University of Applied Sciences, Aachen, Germany

01 **Background**

02 **FRAM within RETRAKT**

03 **Workshops I-III**

04 **Discussion**

Background



Transforming the Textile Sector: From Linear to Circular

- Durability → longer use
→ feedback into design
- Recycled materials → material
flowsback into the system
- Digital Product Passport (DPP) →
continuous information coupling

=> Transformation of linear value
creation into circular systems

Added process and supply chain complexity

- van den Adel et al. (2021): „... *non-linear and complex interdependencies among all organizations that collectively form a supply network.*”
- Kazancoglu et al. (2020): Circular economy turns textile supply chains into circular supply chains - adding reverse flows, life-cycle responsibility, and new coordination requirements.

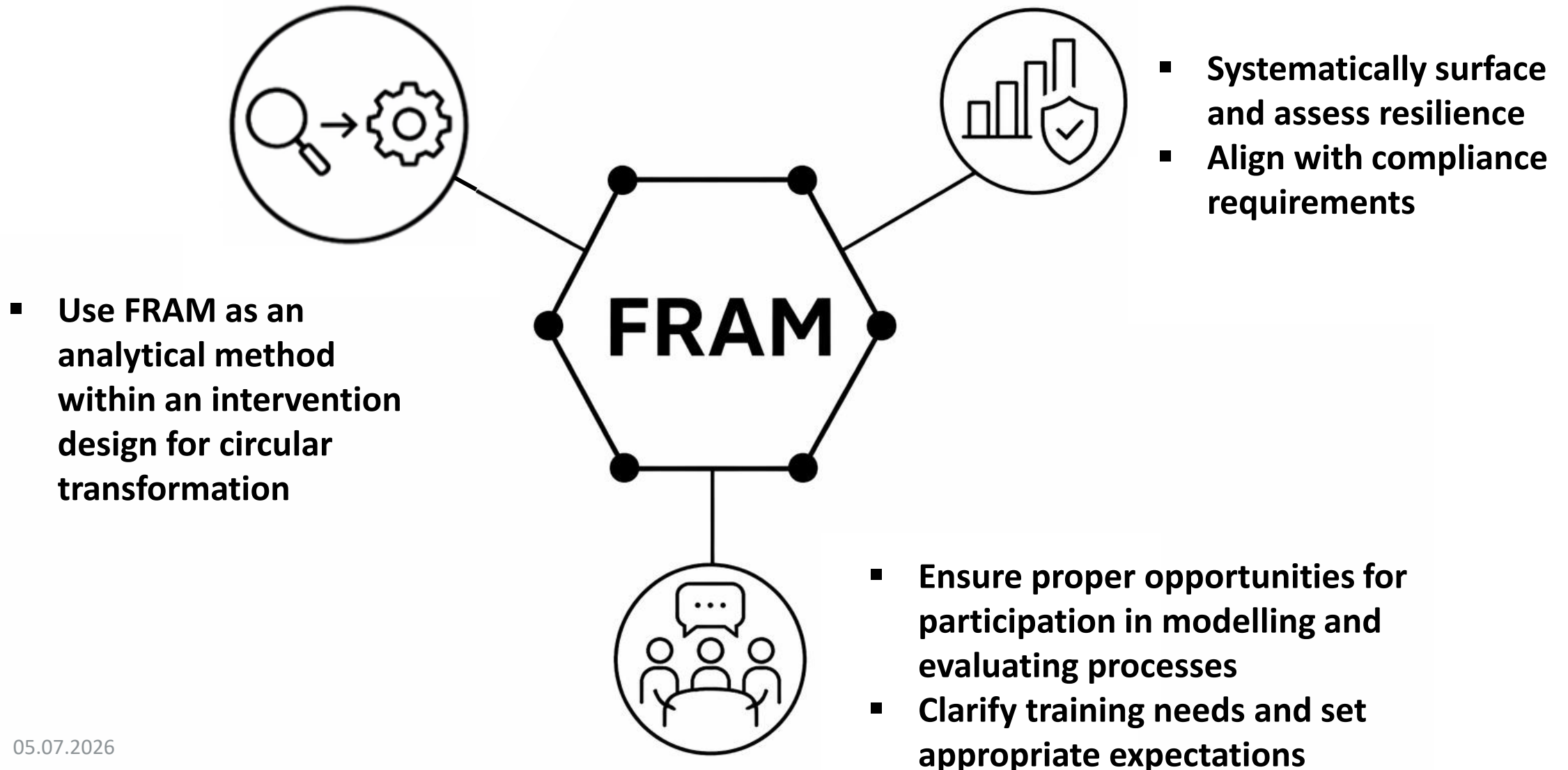
Resilience Engineering ...

- Tortorella et al. (2025): “*Resilience allows SCs to anticipate, adapt, respond, and recover promptly from unexpected disruptions...*”

... embedded in Fundamental Paradigms of German Work Research

- Humanization of Work
- Sociotechnical Design
- Innovation and Competitiveness

FRAM within RETRAKT: objectives and challenges

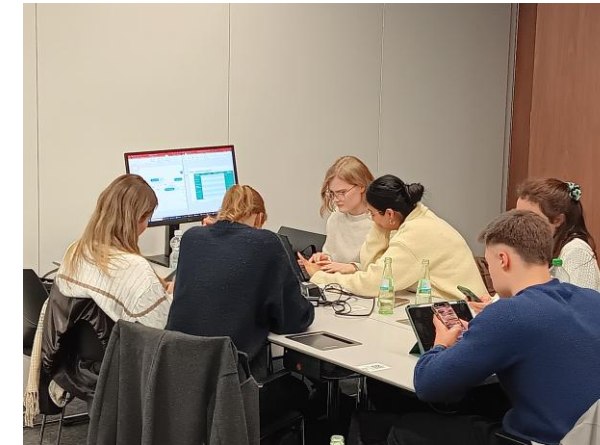


Workshops I-III: modeling and improving a process using FRAM



Workshops I & II on 10 December 2025 (N=22) and 10 January 2026 (N=12) at FOM Cologne; Workshop III on 11 March 2026 at the GfA Spring Conference in Kassel (N=11). Total: N=45. **Red**: instruction time, **Green**: task time

No.	Phase	Duration WS I, II (min)	Duration WS III (min)
1	Welcome, introduction, and agenda	20	10
2	Introduction to FRAM	15	20
3	Introduction to FMV software	20	10
4	Task I „Cup Noodles“	30	30
5	Plenary reflection and sample mode	20	20
Break		10	05
6	Introduction to Resilience Engineering	15	15
7	Task II „RE for Cup Noodles“	70(+10)	60
	▪ 7.1 Instruction	10(+ 20)	05
	▪ 7.2 Teamwork	30	45
	▪ 7.3 Plenary reflection	10	10
8	Final workshop discussion	25(+5)	10
Total		240	180



WS I-II
Part-time FOM students with vocational qualifications and work experience



WS III
Researchers and practitioners in work science and ergonomics

Task I: Model-building input (in total 9 slides)



FRAM Workshop Prozesse modellieren mit der FRAM

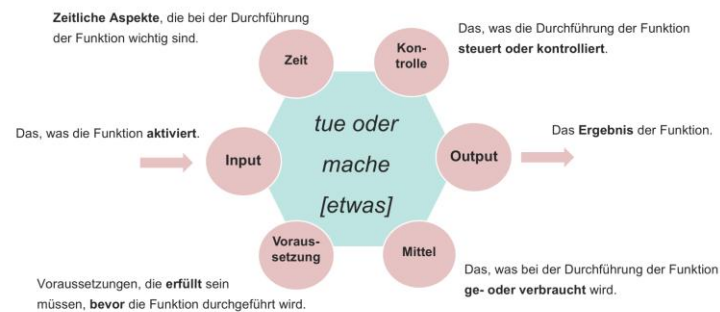
- Ein Prozess ist ein Ablauf, der einem Zweck dient und ein Ergebnis erzeugt
- Ein Prozess kann als System („Schwarm“) aus Funktionen modelliert werden, die zur Zielerreichung nötig sind
- Eine Funktion ist eine einzelne Aktivität, sie hat eine Bezeichnung, einen Akteur und verschiedene Aspekte, die sie näher beschreiben
- Akteure können Personen, Teams, Maschinen, Software oder die Organisation sein
- Die Bezeichnung einer Funktion ist stets ein Verb (ggf. + Objekt) im Imperativ
- Funktionen werden in der FRAM in der Regel als Hexagone dargestellt



26.05.2026

5

FRAM Workshop Die sechs Aspekte einer Funktion



26.05.2026

6

FRAM Workshop Kopplung von Funktionen

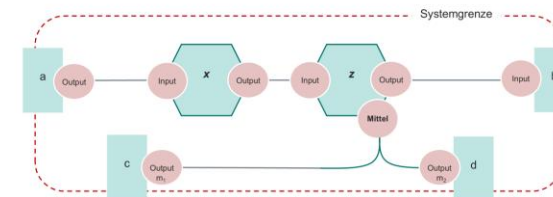


- Jede Funktion muss Input und Output haben
- Jede Funktion kann weitere Aspekte haben, wenn diese für die Funktion relevant sind
- Jeder Aspekt einer Funktion muss eine Quelle haben – bis auf den Output, der ein Ziel haben muss
- Mehrere Kopplungen pro Aspekt sind möglich
- Kopplungen zwischen Funktionen werden als Linien dargestellt

26.05.2026

7

FRAM Workshop Beispiel: Mögliches vollständiges Modell



- Background-Funktionen werden als stabil (nichtvariabel) angenommen. Sie bilden die Systemgrenze und sind außerhalb der aktuellen Betrachtung
- Von z aus gesehen, sind frühere Funktionen „upstream“ und spätere „downstream“

26.05.2026

8

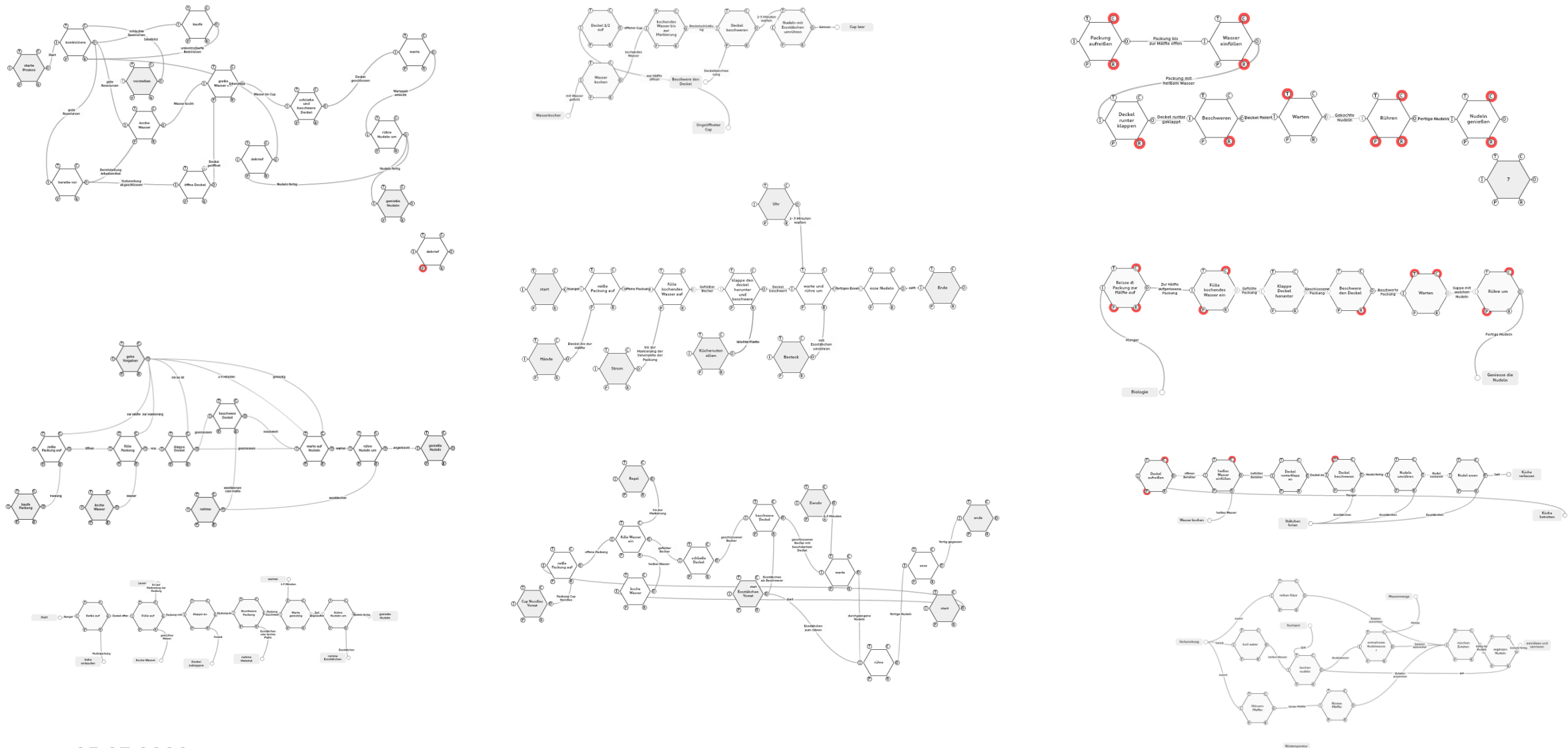
Task I: Building a FRAM-model for Cup Noodles



1. Reißen Sie die Packung am Deckel zur Hälfte auf.
2. Füllen Sie kochendes Wasser in die Packung bis zur Markierung an der Innenseite der Packung.
3. Klappen Sie den Deckel herunter und beschweren Sie ihn mit einem Paar Essstäbchen oder einer leichten Platte.
4. Warten Sie geduldig für 2-3 Minuten, dann rühren Sie die Nudeln mit den Essstäbchen gut um.
5. Genießen Sie Ihre Nudeln!



Models from all groups (Cologne I, II, Kassel, left to right)



Task II: Resilience Engineering revised input (6 slides)

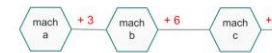


FRAM Workshop Die vier Prinzipien der FRAM

- 1. Äquivalenz von Erfolg und Misserfolg**
Erfolg und Misserfolg entstehen auf dieselbe Weise.
Unterschiedliche Ergebnisse bedeuten nicht unterschiedliche Prozesse.
- 2. Annähernde Anpassungen (Approximate Adjustments)**
Arbeit findet nie exakt wie geplant statt.
Menschen und Organisationen passen ihr Handeln laufend an reale Bedingungen an – immer nur näherungsweise.
Diese Variabilität ermöglicht Erfolg, kann aber auch zu Problemen führen.
- 3. Emergenz**
Einzelne Abweichungen sind meist harmlos.
Kritische Ereignisse entstehen erst durch das Zusammenwirken mehrerer Variabilitäten.
Erfolg und Misserfolg sind emergente, nicht lineare Phänomene.
- 4. Funktionale Resonanz**
Variabilität mehrerer Funktionen kann sich gegenseitig verstärken.
Wirkungen breiten sich über enge Kopplungen aus – nicht über einfache Ursache-Wirkungs-Ketten.
Funktionale Resonanz ist ein dynamisches Systemphänomen.

© 2019 FOM - HANDELSHOCHSCHULE HAMBURG
20.05.2024

FRAM Workshop Beispiel für Funktionale Resonanz



- Die Funktionen a, b und c sind von a über b nach c durch I/O-Kopplungen verbunden
- a, b und c schwanken in ihrer Durchführungszeit um +/- 3 Minuten
- Funktion c kann Schwankungen bis zu 6 Minuten kompensieren
- In sehr seltenen Fällen (Instanzen) sind alle Funktionen verspätet
- Dann kommt es bei c zu einem unerwünschten Ereignis (Verspätung mit negativen Konsequenzen)

Funktionale Resonanz: Ergebnis der unbeabsichtigten Interaktion der alltäglichen Variabilität mehrerer Funktionen innerhalb eines Systems
20.05.2024

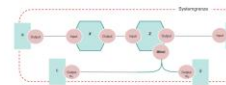
FRAM Workshop Die qualitative Interviewmethode der FRAM



input	Was lässt Sie diese Funktion starten? Woher wissen Sie, dass Sie diese Funktion starten müssen?
output	Was ist das Ergebnis der Funktion? Wer braucht das Ergebnis?
resources	Was verwenden Sie normalerweise, um die Funktion erwartungsgemäß durchzuführen?
time	Gibt es Störungen ihrer Arbeit? Sollte die Funktion zu einer bestimmten Zeit durchgeführt werden? Ist es wichtig, ob die Funktion vor anderen Funktionen erfolgt?
control	Woher wissen Sie, was zu tun ist? Weshalb tun Sie es auf diese Weise?
preconditions	Was sollte für erwartungsgemäße Resultate vorhanden oder erfolgt sein, bevor die Funktion startet?

Fragen: J. Houmgaard (2020), Übersetzung TM
20.05.2024

FRAM Workshop Resilience Engineering



"A system is resilient if it can adjust its functioning prior to, during, or following events (changes, disturbances, and opportunities), and thereby sustain required operations under both expected and unexpected conditions."

Resilience Engineering erforscht, wie Systeme Erfolg haben unter wechselnden Bedingungen.

Arbeitshypothese: Ein mit der FRAM modellierter Prozess stellt eine geeignete Grundlage dar, um Resilienz in soziotechnischen Arbeitssystemen beteiligungsorientiert zu verstehen und explizit zu machen. Dabei dient das FRAM-Modell als Referenzgegenstand.

<https://www.resilience-engineering.eu/wordpress/wp-content/uploads/2016/04/Resilience-Engineering-Definition.pdf>
20.05.2024

FRAM Workshop Variabilität und Funktionale Resonanz in der FRAM



Die FRAM kennt exogene oder endogene Ursachen von Variabilität bei Funktionen. Variabilität kann sich, muss es aber nicht, im Output einer Funktion zeigen.

Funktionale Resonanz wird verstanden als Ergebnis der unbeabsichtigten Interaktion der alltäglichen Variabilität mehrerer Funktionen innerhalb eines Systems.

20.05.2024

FRAM Workshop Beispiel: Resilience Engineering am Würstchenstand



20.05.2024

Thesis: resilience can be meaningfully addressed at the level of the individual function (Steen & Ferreira, 2020; Bueno et al., 2021)

Part II: Resilience Engineering example



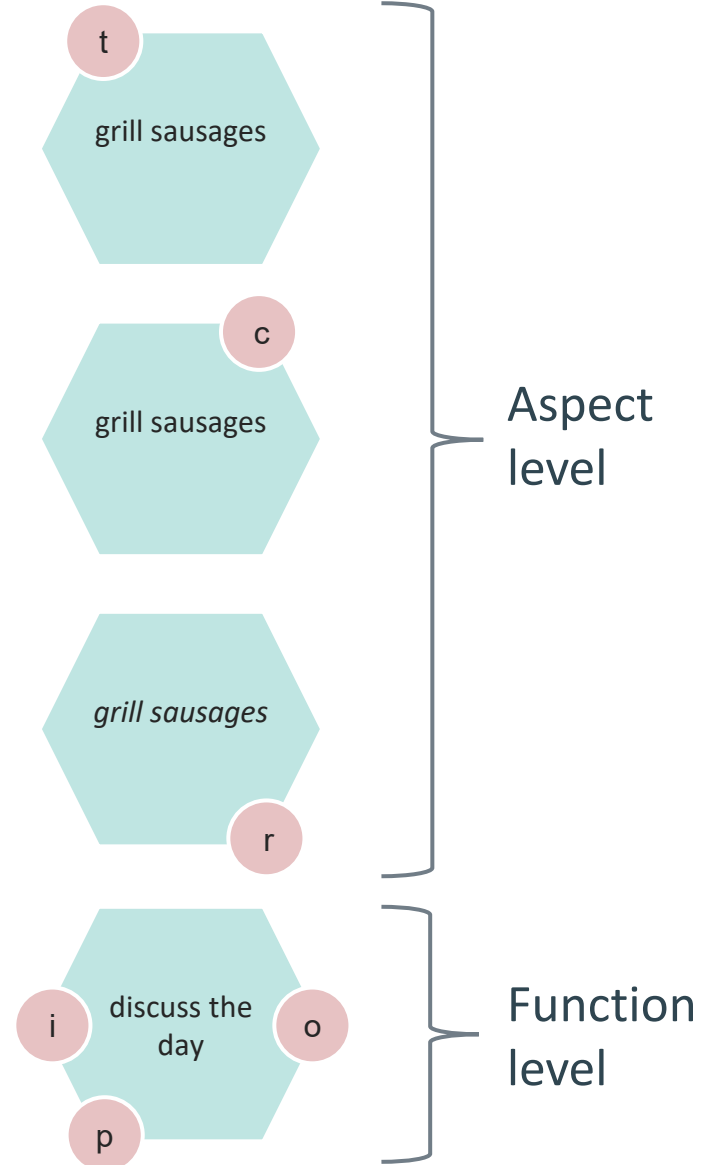
05.07.2026

Anticipate customer demand
at time t_i

Type-specific
browning pattern

Use an additional
indirect heat zone

Reflect on the course of the
day after closing



Task II: Resilience Engineering worksheet



Arbeitsblatt

Die nachstehenden Aussagen stammen aus Interviews mit Personen, die Cup Noodles regelmäßig zubereiten. Es handelt sich um verdichtete O-Töne (keine Rohdaten).

Ihre Aufgabe:

1. Vergleichen Sie die Aussagen mit der WAI-FRAM
2. Überlegen und diskutieren Sie
 - o Welche Funktionen zeigen Variabilität?
 - o Wo entstehen möglicherweise funktionale Kopplungen?
 - o Wo wird Variabilität durch Menschen kompensiert?
 - o Sehen Sie Ansatzpunkte zur Förderung der Resilienz des Prozesses?
3. Notieren Sie die Ergebnisse Ihrer Gruppe in dem Fragebogen auf Ihrem Desktop.

Aussagen aus den Interviews:

F1 – Instruktion lesen

- „Die Anleitung habe ich ehrlich gesagt noch nie gelesen.“
- „Beim ersten Mal ja – danach macht man das aus dem Kopf.“
- „Die Packung liegt meistens gar nicht so, dass man sie liest.“

Notizen:

F2 – Vorbereiten

- „Ich mache das meistens nebenbei, während ich noch was anderes mache.“
- „Manchmal fehlt mir ein Löffel oder ein Timer, dann improvisiere ich.“
- „Vorbereitung ist bei mir eher Pi-mal-Daumen.“

Notizen:

F3 – Wasser kochen

(Schwerpunkt: Output-Variabilität – Temperatur)

- „Manchmal gieße ich schon auf, wenn das Wasser noch nicht richtig kocht“
- „Wenn es dampft, reicht mir das meistens“
- „Wenn ich kurz weg war, ist es nicht mehr ganz heiß“
- „Neu aufkochen dauert – das mache ich nicht immer“
- „Der Wasserkocher spinnt manchmal, der schaltet zu früh ab“
- „Genau wenn das Wasser fertig ist, kommt oft etwas dazwischen“
- „Telefon, Kollegen – irgendwas ist immer“
- „Bis ich wieder da bin, ist das Wasser nicht mehr richtig heiß“

Interview statements for functions 1-8 + 1 new function,
e.g.: F1 – Read the instructions:

- *“To be honest, I have never read the instructions.”*
- *“The first time, yes — after that, you do it from memory.”*
- *“The package is usually not positioned in a way that makes you read it.”*

1. Compare the statements with the WAI FRAM

2. Reflect on and discuss:

- Which functions show variability?
- Where might functional couplings arise?
- Where is variability compensated for by people?
- Do you see any starting points for strengthening the resilience of the process?

3. Record your group's results in the questionnaire on your desktop

Strengthening Resilience: answers to question no. 4



WS II (Cologne)

- Read the instructions
- Adapt the packaging design (marking, lid, cup colour changes over time)
- Keep-warm function
- No distractions
- Provide utensils

WS III (Kassel)

- Short version of the operating instructions
- Pictograms
- Thermos flask
- Recommendation for a kettle with scalable temperatures and quantities (e.g. Caso hot water dispenser)
- Simplify the instructions
- Instructions on the lid
- Include a small spoon in the package
- Heat measurement (QR code video cooking tutorial)
- Insulation of the packaging
- Facilitate monitoring through an illustration
- Be prepared for possible disturbances
- Use previous experience as a guide (e.g. time of day: when the kettle is not being used by flatmates)

- **Participants identified relevant points for process resilience**
- **WS III produced a broader and more detailed set of suggestions, while WS II included fewer but still relevant resilience-oriented ideas**

Overall results



Modelling Performance

Group	Functions	Background Functions	Free Functions	Aspects (not I/O)	Unspecified Aspects	Qualitative Score
1	11	3	1	6	1	2
2	0	0	0	0	0	0
3	6	5	0	9	0	2
4	6	9	0	7	0	2
5	5	4	0	2	0	1
6	5	7	0	5	0	2
7	8	6	0	5	0	2
8	7	0	0	13	13	1
9	6	2	0	10	10	1
10	6	4	0	8	4	2
11	8	5	1	3	0	2
Ø	6,2	4,1	0,2	6,2	2,5	

Rating levels

- 0: No model or serious deficiencies
- 1: Model with weaknesses
- 2: Model with no errors or only minor errors

Colors

- green: WS I
- white: WS II
- yellow: WS III

Resilience Engineering Performance

Group	Variability	Resonance	Compensation	Levers
5	+	~	~	~
6	+	+	+	~
7	+	~	+	+
8	~	-	-	+
9	~	~	~	+
10	+	~	~	-
11	+	-	+	+

Symbols

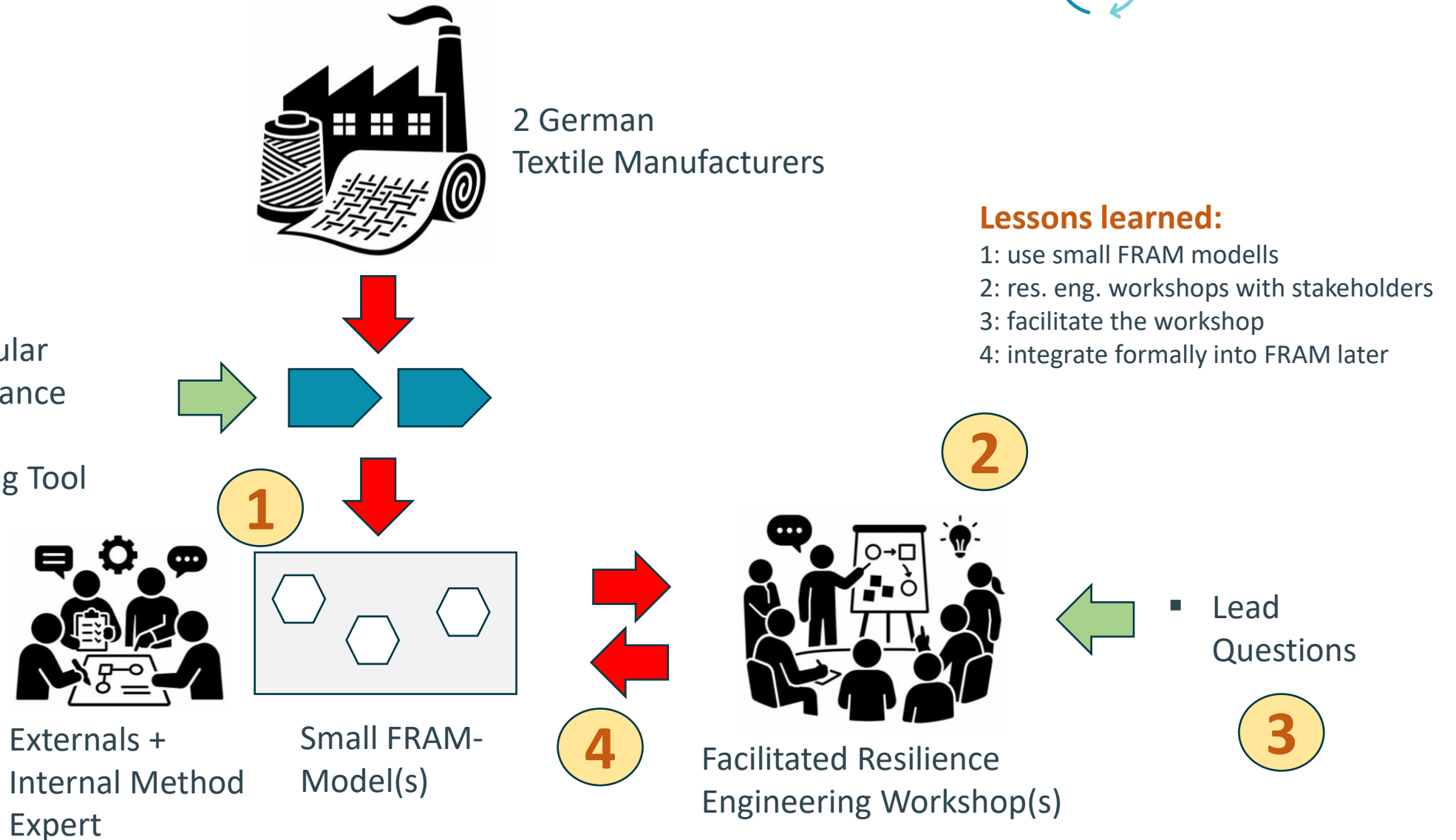
- : none or wrong
- ~: some
- +: most or all

- Integration of the findings into the model was not required and did not happen
- Some guidance during group work took place

Our current concept



- Dynamic EU circular economy compliance Requirements
- Process Screening Tool



Thank you very much for your attention!

FOM Hochschule

[iaim Institute of Automation & Industrial Management](https://www.iaim.fom.de)

Prof. Dr. Thomas Mühlbradt

Dennewartstraße 25
52068 Aachen, Germany
thomas.muehlbradt@fom.de

The RETRAKT project is funded under the 'Future of Work' programme by the Federal Ministry of Research, Technology and Space (BMFTR) and the European Union through the European Social Fund Plus (ESF Plus), and is managed by the Project Management Agency Karlsruhe (PTKA).

With funding from the:



Federal Ministry
of Research, Technology
and Space



Co-funded by
the European Union



retrakt.de