

The image features the Framatome logo in the top left corner, set against a background of industrial machinery. The machinery consists of various metal components, including rollers and structural frames, which are part of a manufacturing process. The overall scene is in grayscale, emphasizing the metallic textures and mechanical complexity of the equipment.

framatome

Innovations in Design and Manufacturing

C. Hintergräber, J. Schäfer

Baden, 28.02.2023

Confidentiality



This document contains Framatome's know-how

EXPORT CONTROL

AL = 0E001	ECCN = N
<p>Goods labeled with "AL not equal to N" are subject to European or German export authorization when being exported within or out of the EU.</p> <p>Goods labeled with "ECCN not equal to N or EAR99" are subject to U.S. reexport authorization. Even without a label, or with label: "AL:N" or "ECCN:N" or "ECCN:EAR99," authorization may be required due to the final whereabouts and purpose for which the goods are to be used.</p>	

This document and any and all information contained therein and/or disclosed in discussions supported by this document, are confidential, protected by applicable intellectual property regulations and contain data subject to trade secrets regulations. Any reproduction, alteration, disclosure to any third party and/or publication in whole or in part of this document and/or its content is strictly prohibited without prior written express approval of Framatome. This document and any information it contains shall not be used for any other purpose than the one for which they were provided. Legal and disciplinary actions may be taken against any infringer and/or any person breaching the aforementioned obligations.

© Framatome – All rights reserved

FRAMATOME'S INFORMATION PROTECTION RULES



C1 -This document and any and all information contained therein and/or disclosed in discussions supported by this document are **restricted**.



C2 : This document and any and all information contained therein and/or disclosed in discussions supported by this document are sensitive and **Framatome confidential**, such as its disclosure, alteration or loss are detrimental with a significant-to-high impact for Framatome.

The document, if disclosed, and any information it contains are intended for the sole attendees. The disclosure or reference to such information or document shall be made only on a proper judgment basis and by mentioning expressly "this information shall not be disclosed / transferred without prior consent".



C3 –This document and any and all information contained therein and/or disclosed in discussions supported by this document are classified **Framatome Secret**.

Each one must commit to keep secret any written or oral information disclosed during the meeting. It is forbidden to disclose it to any legal entity and any individual (including within Framatome) without prior consent of the meeting chairman.

CONTENT

- ATRIUM 11 Further Developments -
- 01 .** Current Reload Design vs. Leads KKL/28VL/12 (2012)
 - 02 .** Gösgen Spacer Improvements
 - 03 .** Beznau – Fuel Assembly Design
 - 04 .** Summary and Conclusions



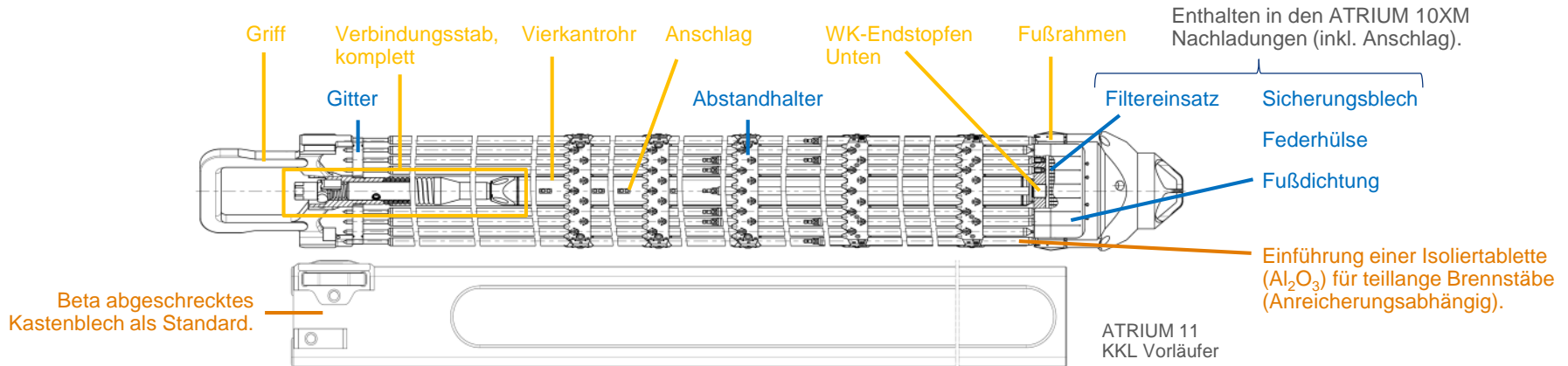
1. ATRIUM 11 Further Developments

ATRIUM 11 Current Reload Design vs. Leads
KKL/28VL/12 (2012)

ATRIUM 11 (BiB – B-Bauweise) in
Lingen storage

ATRIUM 11 Vorläufer KKL/28VL/12

- Die Komponenten für die KKL ATRIUM 11 Vorläufer wurden größtenteils im Prototypenlabor in 2011/12 hergestellt. Seit 2012 wurden alle Komponenten industrialisiert und weiterentwickelt. Die Aktivitäten umfassten im Wesentlichen:
 - Industrialisierung** zur Erhöhung der Stückzahlen und Optimierung bezüglich Fertigungs- und Einsatzerfahrung.
 - Verstärkung aller Komponenten der Lastkette (= **Enhanced Load Chain**).
 - Start mehrerer Entwicklungsprojekte.

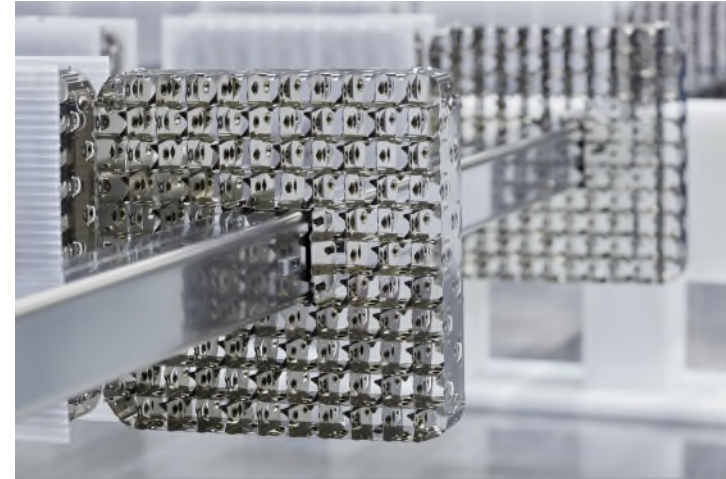


Alle Komponenten des ATRIUM 11 sind weiterentwickelt.

ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Abstandhalter (AH) Industrialisierung (1)

- Alle Modifikationen wurden zur Optimierung der Herstellungsprozesse eingeführt und sind Ergebnisse aus den “Lessons Learned” der bisherigen Fertigungskampagnen.
 - Umstellung des Fertigungsprozesses der Stegfertigung von Laserschneiden (Labor) auf Stanzen (ETM).
 - Prüfung der AH-Zellen wurde von taktiler (= Federkraft Messung) auf optisches Verfahren (= Zellgröße) umgestellt.
 - Optimierung einiger Details im AH-Steg Design (siehe nachfolgende Folien).
 - Alle Modifikationen sind bereits in aktuellen Fertigungskampagnen eingeführt.
- Dabei handelt es sich jeweils um kleinere Modifikationen, die keinen Einfluss auf die Auslegung (insbesondere Critical Power und Druckverlust) haben.

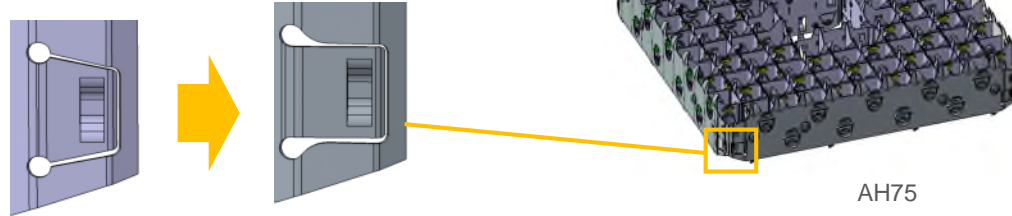


ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Abstandhalter Industrialisierung (2)

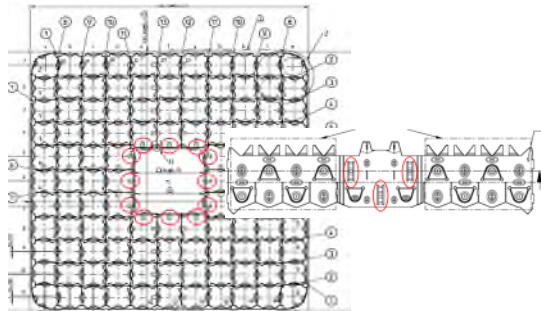
- AH75: Designoptimierung der Eckfeder für kurze TLS

Outer strip: fuel rod spring for short part length fuel rod support



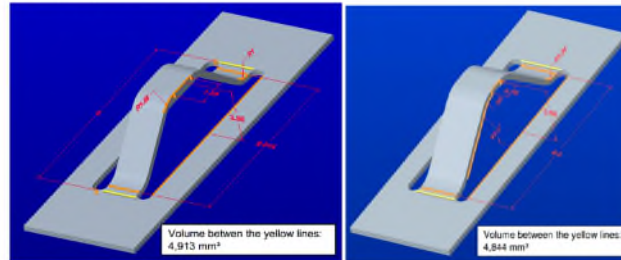
- AH75: Verbesserung der Herstellbarkeit der „Brücken-Noppen“ an den WK-Stegen ohne Änderung der projizierten Fläche, der Höhe und Position dieser Noppen.

Spacer AH75 affected bridge dimples at water channel

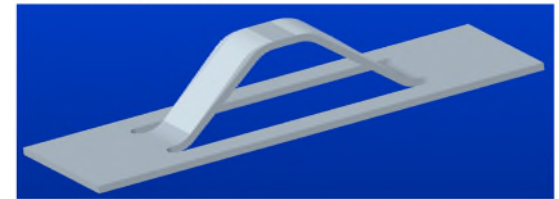


Detail view of the bridge dimple (left picture = current design/ right picture = intended modified design):

The status quo as actual manufactured



Both designs are projected in one picture:



The slightly light-colored contour shows the original/ current dimple shape and the darker grey shows the new intended contour.

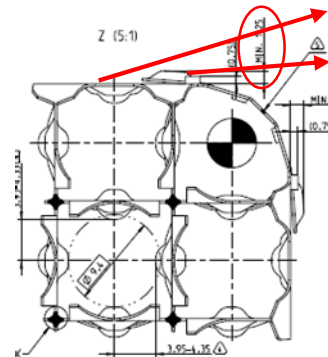
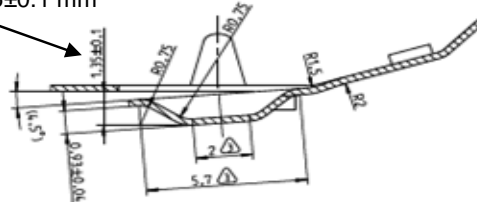
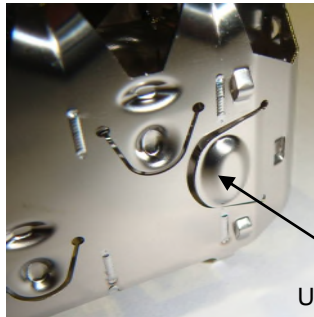
ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Abstandhalter Industrialisierung (3)

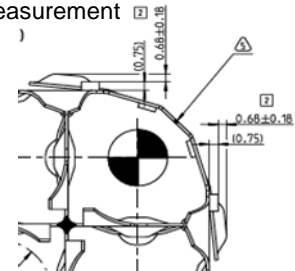
- AH76/ 77: Vergrößerung der Höhe der BE-Kasten Zentrierfeder am Außensteg und Änderung des Messkonzeptes für diese Federhöhe am AH.
 - Die Fertigungserfahrung zeigte einen Trend, dass sich diese Feder in der AH-Fertigung etwas zurückbiegt.
 - Die geringfügig vergrößerte Federhöhe (0,1 mm) am Außensteg bedeutet mehr Margins in der AH-Fertigung. Keine Änderung für das fertige Produkt.
 - Änderung des Messkonzeptes für die Federhöhe am fertigen AH: Die Messung erfolgt von den kleinen Brücken-Noppen anstatt der Außensteg-Oberfläche als Basis → die Brücken-Noppen können mit dem optischen System einfacher detektiert werden als die Stegobersfläche.

Outer strip: spring height requirement changed from $1.35 \pm 0.1 \text{ mm}$ to a new height of $1.45 \pm 0.1 \text{ mm}$

Uppermost 5 spacers:
Fuel channel centering spring



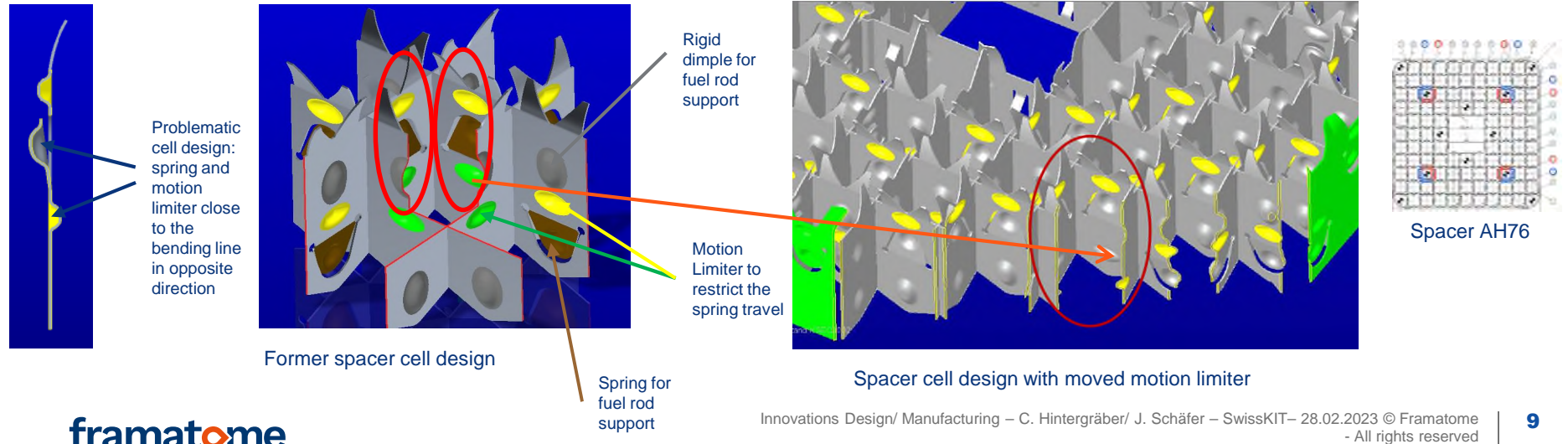
Changed measurement at final spacer:
Original: outer strip surface as basis for height measurement
New: small bridge dimple as basis for height measurement



ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Abstandhalter Industrialisierung (4)

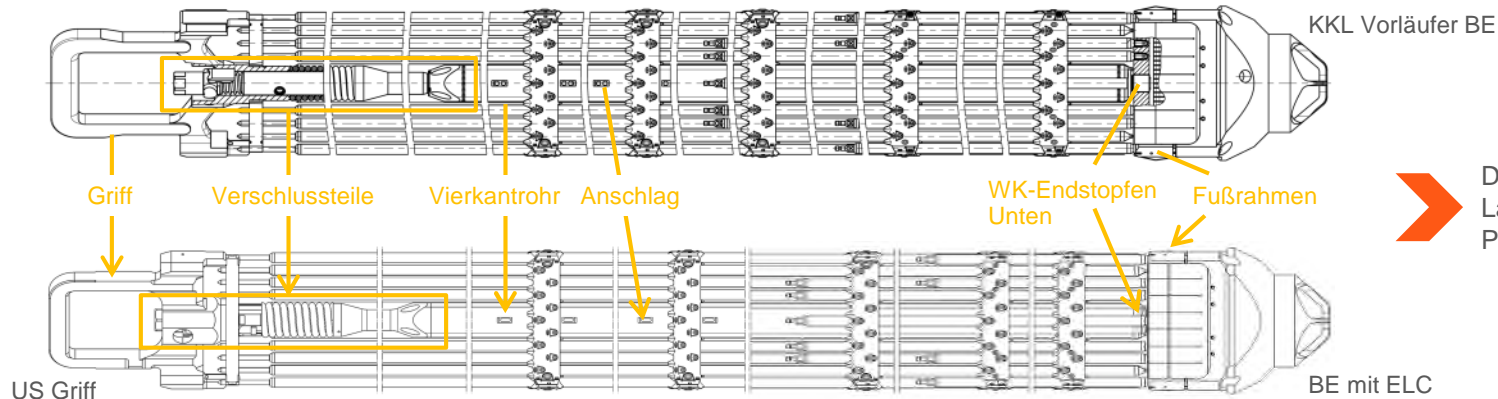
- AH76/ 77: Verschiebung der „Motion Limiter“ in einigen speziellen AH-Zellen
 - In Fertigung und Inspektion von Abstandhaltern AH76 und AH77 traten an bestimmten Zellen Auffälligkeiten auf – Abstand Feder-Noppe in der Zelle zu groß.
 - Während des Schweißens der AH werden in AH-Zellen mit einer speziellen Feder/ Motion Limiter Konfiguration interne Spannungen aus der Stegfertigung freigesetzt und die Feder biegt sich etwas zurück.
 - Die „Motion Limiter“ in den betroffenen Zellen (Zellen oberhalb der TLS) werden im Vergleich zur bisherigen Position um 5,4 mm nach unten verschoben.



ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (1)

- Ziel der Entwicklung der ELC war es, die Lastkette zu verstärken, um die Festigkeit für jedes Bauteil bei der Handhabung zu erhöhen. Zug- und Druckversuche wurden mit den optimierten Komponenten durchgeführt.
- Jede Komponente der Lastkette, von Griff bis Fußrahmen, wurde optimiert:
 - Fertigungstechnische Optimierung.
 - Reduktion von Spitzenspannungen und Kerbwirkungen.
 - Reduktion der H-Konzentration des Vierkantrohres.
 - Verbesserung der Schweißanbindung des Anschlages.

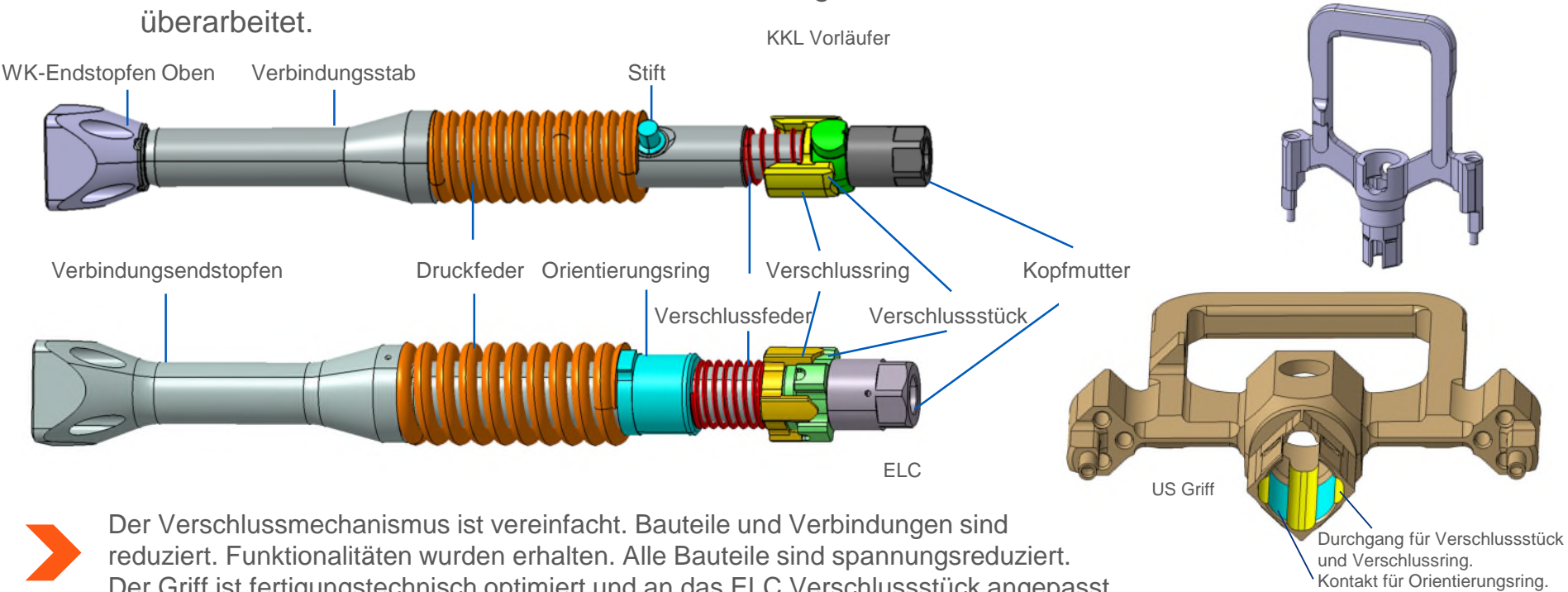


Die ELC ist die robusteste Lastkette der ATRIUM Produkt Familie.

ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (2): Griff und Verbindungsendstopfen Komplett

- Alle Bauteile des Verschlusses und der Anbindung zum Vierkantrrohr sowie der Griff sind überarbeitet.

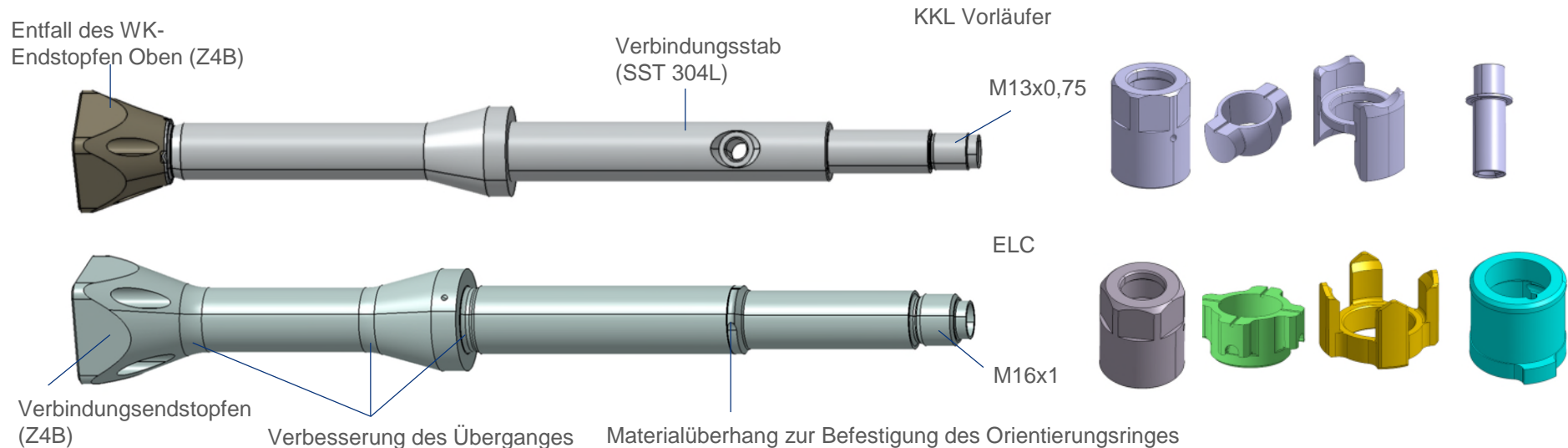


Der Verschlussmechanismus ist vereinfacht. Bauteile und Verbindungen sind reduziert. Funktionalitäten wurden erhalten. Alle Bauteile sind spannungsreduziert. Der Griff ist fertigungstechnisch optimiert und an das ELC Verschlussstück angepasst

ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (3): Verbindungsendstopfen und Verschlusssteile

- Optimierung aller Bauteile (Federn nicht mit dargestellt)

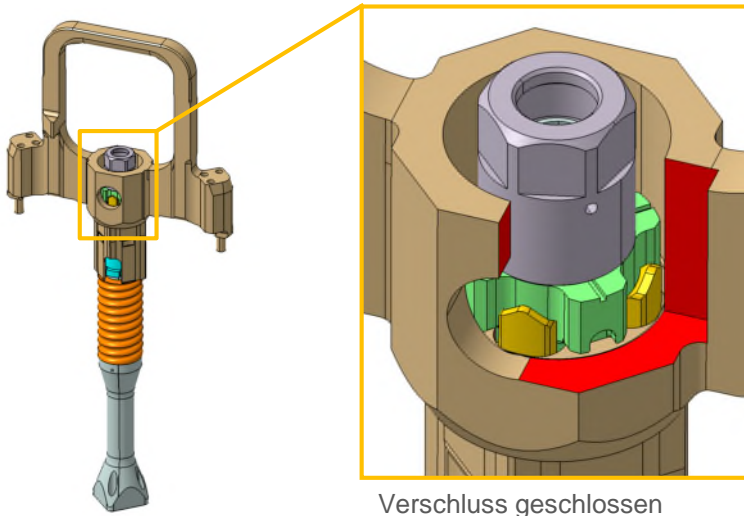


Die untere Schraubverbindung und die Querbohrung sind entfallen.
Die Geometrie ist vereinfacht. Alle Bauteile sind robuster.

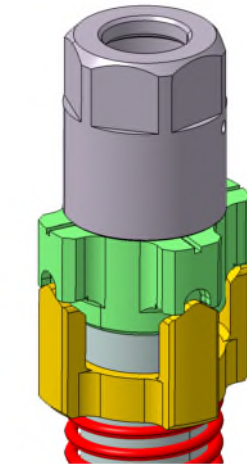
ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (4): ELC Verschluss - Funktion

- Der ELC Verschluss ist, wie der HALC Verschluss, ein Bajonettverschluss. Durch Drücken des Verschlussringes gegen die Verschlussfeder und drehen des Verschlussstückes wird der Verschluss geöffnet oder geschlossen.
 - Handhabungsversuche wurden erfolgreich durch verschiedene Serviceteams in Erlangen und Lynchburg (USA) durchgeführt.



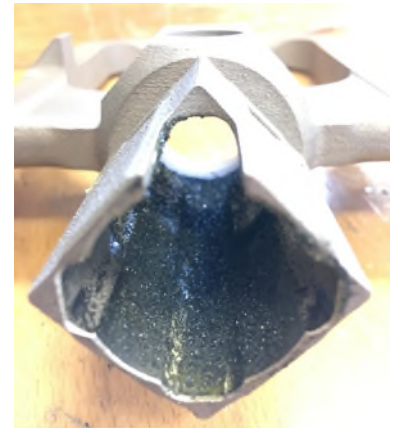
Verschluss geschlossen



Verschluss geöffnet



Test mit verschmutzten Teilen und gedrucktem Griff.

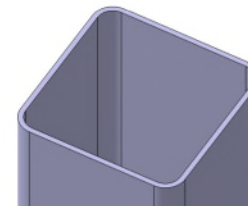


ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (5): Vierkantrohr

Die Blechdicke ist von 0,85 mm auf 1,0 mm erhöht. Spannungen und H-Konzentration sind reduziert.

	ATRIUM 10XM	ATRIUM 11 KKL Vorläufer	ATRIUM 11 ELC
Nominelle Blechdicke	0,8 mm	0,85 mm	1,0 mm
Material	Zry-4	Z4B	Z4B
Tragender Querschnitt (nominell)	105,9 mm ²	104,1 mm ²	122,0 mm ²
Außenabmaß	□35 mm	□33 mm	□33 mm
Spannungslevel bei der Handhabung	---	100% (Referenz)	85%
H-Konzentration (Wandickenverhältnis)	100% (Referenz)	94%	80%

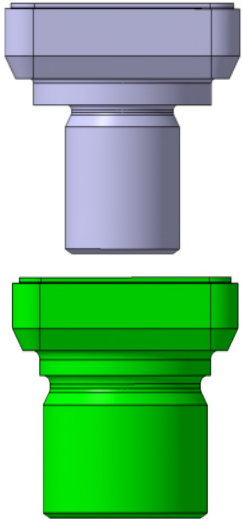


Das ELC Vierkantrohr ist das robusteste ATRIUM Vierkantrohr.

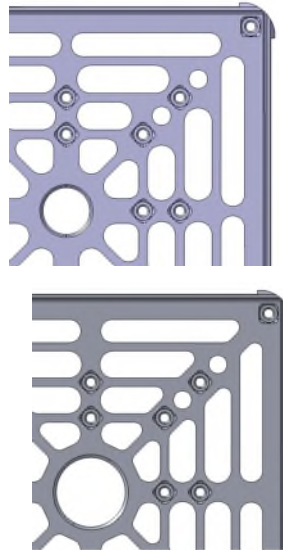
ATRIUM 11 Aktuelles Nachlade-Design vs. KKL Vorläufer

Enhanced Load Chain (ELC) (5): WK-Endstopfen und Fußrahmen

Vergrößerung des Gewindes von M16x1 auf M24x1. Die Wassereintrittsöffnungen sind unverändert.



Verbesserte Steggeometrie, erhöhte Steghöhe (14 mm auf 15 mm) und angepasste Anbindung der Stege an die Außenwand.



KKL Vorläufer

ELC

Der Einfluss der Änderung auf die Thermohydraulik wurde gemeinsam mit dem Fußrahmen mittels CFD bewertet und ist vernachlässigbar.

ATRIUM 11 Weiterentwicklung

Nutzung additiver Fertigungsmethoden für Reaktorkomponenten

- Als Erstanwendung für eine gedruckte neue Komponente wurde ein Kopfgitter aus SST 316L entwickelt.
 - Zwei Kopfgitter wurden in 2022 in einen skandinavischen Reaktor eingesetzt.
- Darauf basierend wird ein weiter verbesserter Filter, der 4th Generation FUELGUARD, entwickelt.
 - Die Montage in den Fußrahmen erfolgt wie beim 3GFG.
 - Der Filter soll einen ähnlichen Druckverlust wie der 3GFG und eine verbesserte Filterwirkung aufweisen.
 - Auf Grundlage von Computersimulationen wurde ein Designentwurf ausgewählt.
 - Filtertests mit unterschiedlichen Drahtgrößen finden aktuell statt.



Ausgeliefertes Brennelement mit gedrucktem Kopfgitter (März 2022).



3-D gedruckter Filter



Filter Test-Segment

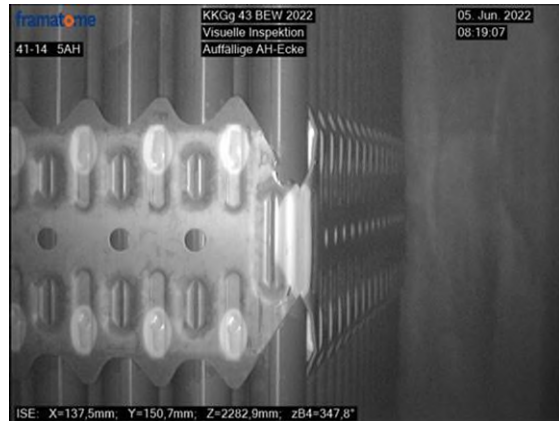
2. Further Development for Gösgen Spacers

Spacer Improvements for HTP and HMP

Verbesserungen an Abstandhaltern für Gösgen

Hintergrund

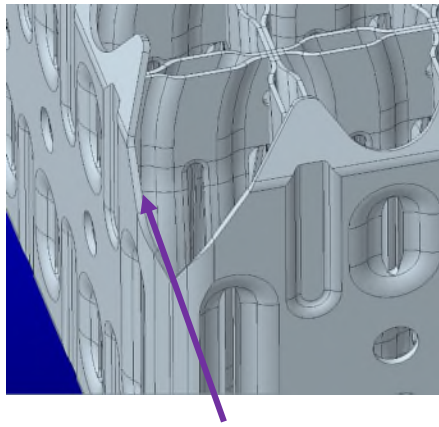
- Im Rahmen der letzten beiden Revisionen wurden vermehrt Eckschäden festgestellt, die auf ein leichtes Verhaken von Abstandhalterecken zurückzuführen waren:
 - Ungünstige Biegekonfiguration von zwei benachbarten Brennelementen
 - Eckengeometrie der Abstandhalter ist bezüglich eines möglichen Verhakens nicht ausoptimiert
 - Be- und Entladestrategie des Reaktorkerns hat ein mögliches Verhaken nicht berücksichtigt



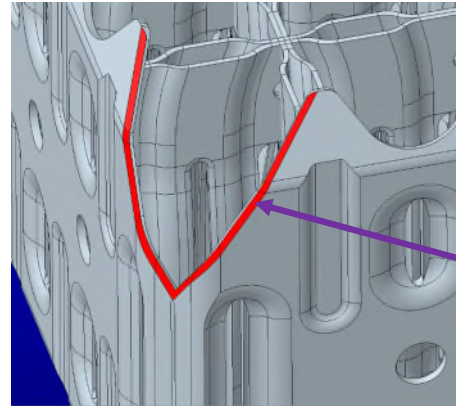
Verbesserungen an Abstandhaltern für Gösgen

Kurzfristige Verbesserungen an den HTP Abstandhaltern

- Anprägen einer Fase von ca. 0,4 mm an den Ecken der Außenstege zur Verbesserung des Abgleitverhaltens:
 - Einführung mit der nächsten Nachladung in 2023. Nur wenige Anpassung an den Unterlagen erforderlich.
 - Nur geringfügige Änderungen an den Werkzeugen erforderlich (zwei neue Prägwerkzeuge).
 - Vorhandene Schweißvorrichtungen können verwendet werden.
 - Neue Qualifikationen erforderlich (Außensteg beim Stegherstellung, Eckschweißung und Maßqualifikation bei der AH Fertigung).



Aktuelles Design: keine Fase an den Außenstegen

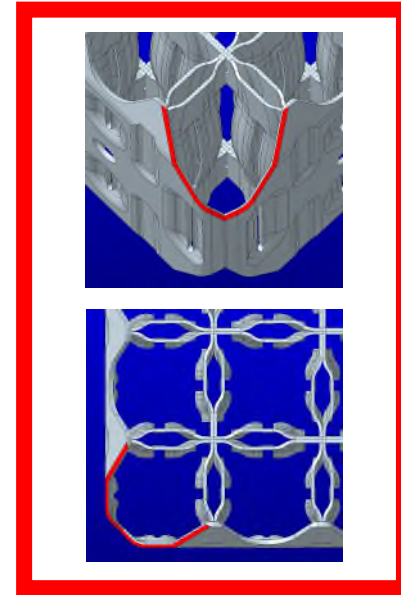
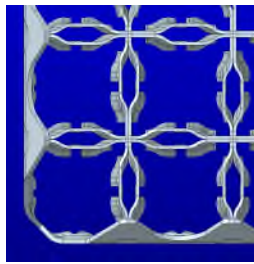
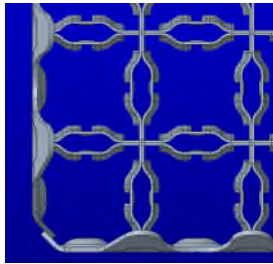
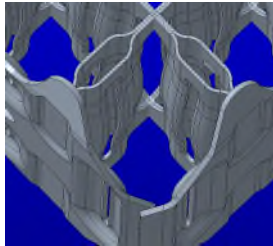


Modifiziertes Design:
Anprägen einer Fase
von ca. 0,4 mm an
den Außenstegen

Verbesserungen an Abstandhaltern für Gösgen

Mittelfristige Verbesserungen an den HMP Abstandhaltern

- Verringerung der diagonalen Abmessungen des AH zur Verbesserung des Abgleitverhaltens:
 - Aufgrund von aufgetretenen Eckschäden an mit dem aktuellen AH-Design soll die Überlappecke auf eine Stoßecke mit Fase umgestellt werden.
 - Verkleinerung des Außenmaßes.
 - Einführung geplant mit der Nachladung in 2025.

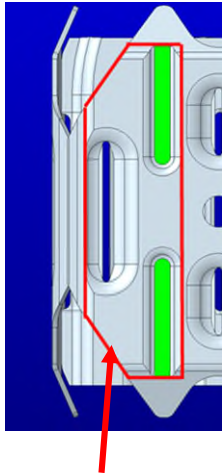


Stoßecke mit Fase

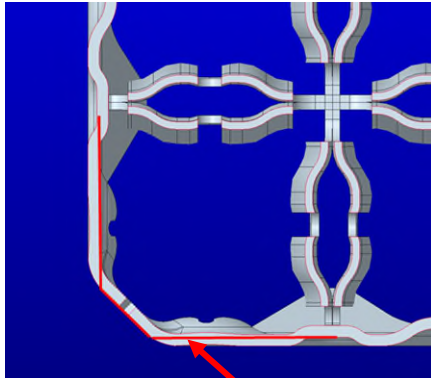
Verbesserungen an Abstandhaltern für Gösgen

Mittelfristige Verbesserungen an den HTP Abstandhaltern

- Geometrische Umgestaltung der AH Ecke zur Verbesserung des Abgleitverhaltens:
 - Mögliche Störkanten im Bereich der Ecke werden um ca. 0,5 mm nach innen versetzt. Die Stoßecke und große Fase werden beibehalten.
 - Kürzere Ecknoppe, dadurch erhält der Bereich oberhalb und Unterhalb der Noppe mehr Festigkeit
 - Einführung geplant mit der Nachladung in 2025.

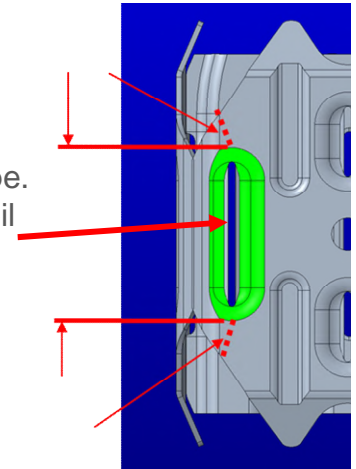


Markierter Bereich wird ca. 0,5 mm nach innen versetzt (zur grünen Schweißtasche).



Zurückversetzte Kontur des AH im Eckbereich.

Reduzierung der Länge der Noppe. Der durchgehende tragende Anteil an der Ecke wird größer und mechanisch robuster.



Verbesserungen für die BE-Handhabung in Gösgen

Zusammenfassung

Folgende Maßnahmen werden das Risiko für Handhabungskomplikationen zukünftig verringern:

- Zurückgesetzte Ecke an den HTP- Abstandhaltern
- HMP-Ecke mit Stumpfnahtschweißung (Reduzierung des AH- Diagonalmaßes)
- Der Rückgang der BE-Verbiegung (mittlere BE-Biegung ist wieder auf FOCUS Niveau) durch den konsequenten Einsatz von HTP-I Brennelementen
- Optimierte Be- und Entladestrategie

3. Beznau

Fuel Assembly Design

BE-Design für Beznau: Agora 4H

Entwicklungsmöglichkeiten

- Das Agora 4H Brennelementdesign für Beznau ist ein bewährtes Brennelementdesign und wird in ähnlicher Form neben Beznau auch in Doel-1/2 seit vielen Jahren problemlos betrieben.



Aus betrieblicher Sicht sind keine Änderungen am Design erforderlich.
Mögliches Entwicklungspotential für die Zukunft:

- M5 Hüllrohrmaterial
- Q12 Führungsrohre mit HMP als obersten Abstandhalter
- Q12 Abstandhalter in den AH-Ebenen 2-6
- Stand- alone Quick- Disconnect

4. Summary and Conclusions

Zusammenfassung

- Framatome wertet die Fertigungs- und Betriebserfahrungen kontinuierlich aus.
- Aus diesen Erfahrungen und „Lessons Learned“ werden Maßnahmen zu Designverbesserungen abgeleitet mit der Zielstellung:
 - Das Betriebsverhalten kontinuierlich zu verbessern.
 - Die Fertigungsprozesse zu optimieren.
 - Die Auswirkungen der Änderungen auf die Lizensierung möglichst gering zu halten.
- Beim ATRIUM 11 wurden im Vergleich zu den Vorläufer BE viele Weiterentwicklungen in Design und Fertigung eingeführt.
 - Alle Komponenten sind industrialisiert und die jeweiligen Fertigungsprozesse wurden kontinuierlich optimiert.
 - Die ELC ist die robusteste Lastkette der ATRIUM Produkt Familie und die Margins für die BE-Handhabung wurden erhöht.
- Durch die Modifikationen an der Abstandhaltern für Gösgen wird sich das Abgleitverhalten der BE's verbessern und das Risiko für AH-Eckschäden wird verringert.



Framatome arbeitet kontinuierlich daran, unseren Kunden ein robustes BE zur Verfügung zu stellen, welches sowohl state-of-the-art bei den Herstellungsprozessen und -Technologien als auch bei den verwendeten Materialien ist.

Any reproduction, alteration, transmission to any third party or publication in whole or in part of this document and/or its content is prohibited unless Framatome has provided its prior and written consent.

This document and any information it contains shall not be used for any other purpose than the one for which they were provided.

Legal and disciplinary actions may be taken against any infringer and/or any person breaching the aforementioned obligations.

ATRIUM, Z4B, ULTRAFLOW and FUELGUARD are trademarks or registered trademarks of Framatome or its affiliates, in the USA or other countries.