FED

Wir verbinden

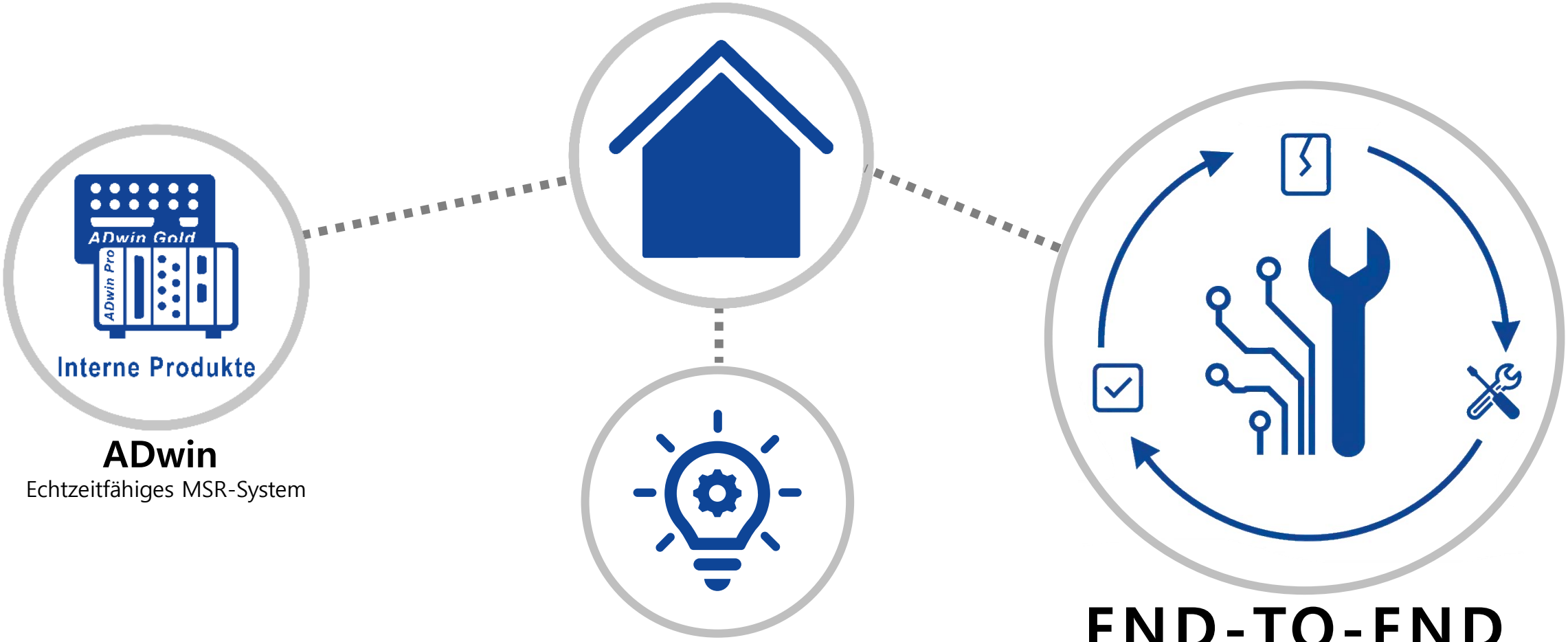
Reparaturfähigkeit in der Industrie: Strategien für langlebige Elektroniksysteme

VORTRAG

Andreas Kraus
Geschäftsführender
Gesellschafter

Kraus HARDWARE GmbH

Geschäftsfelder
Angebotsspektrum



ADwin
Echtzeitfähiges MSR-System

E²MS
Als Dienstleistung

END-TO-END
- REPARATUR -

Bildquelle: Kraus Hardware | KI erzeugt

Firmenhistorie

1992
- Gründung Kraus Hardware Entwicklung

1998
- Umfirmierung Kraus Hardware GmbH

2001
- EMS-Dienstleistungen

2002
- Dampfphasen-lötanlage

2007
- Rework
- Flying Probe

2009
- Röntgenanalyse
- Standortwechsel
- ISO 9001:2008

2011
- Boundary Scan

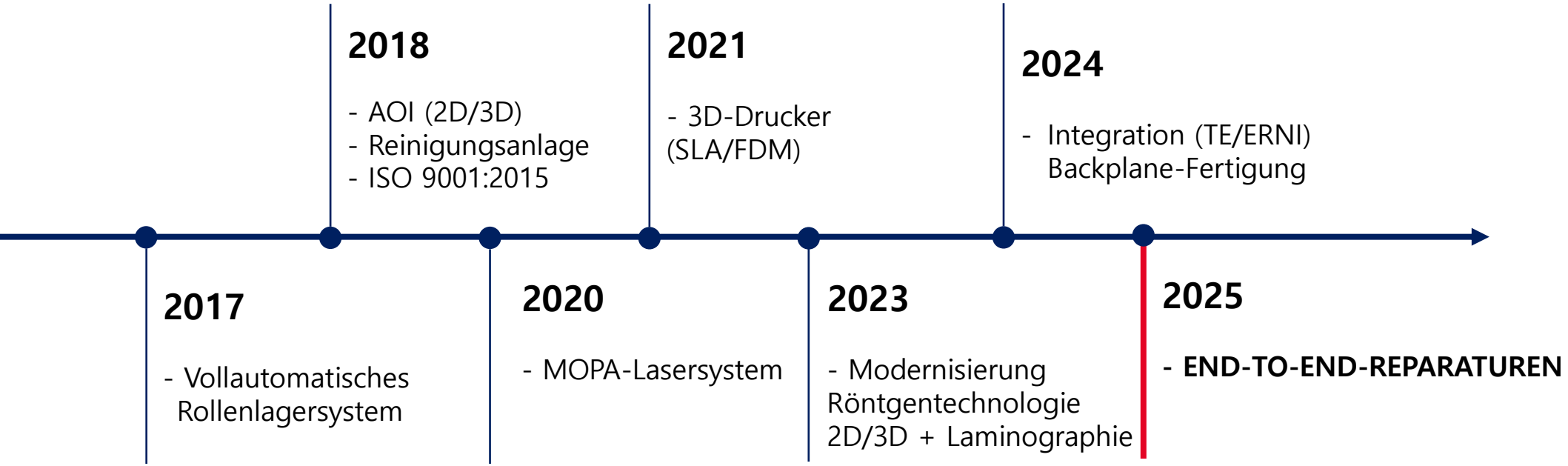
2012
- Erweiterung der Röntgenanalyse
- 3D (CT)

2013
- Vakuum-dampfphase

2014
- Selektivlötanlage

2015
- Einführung Traceability

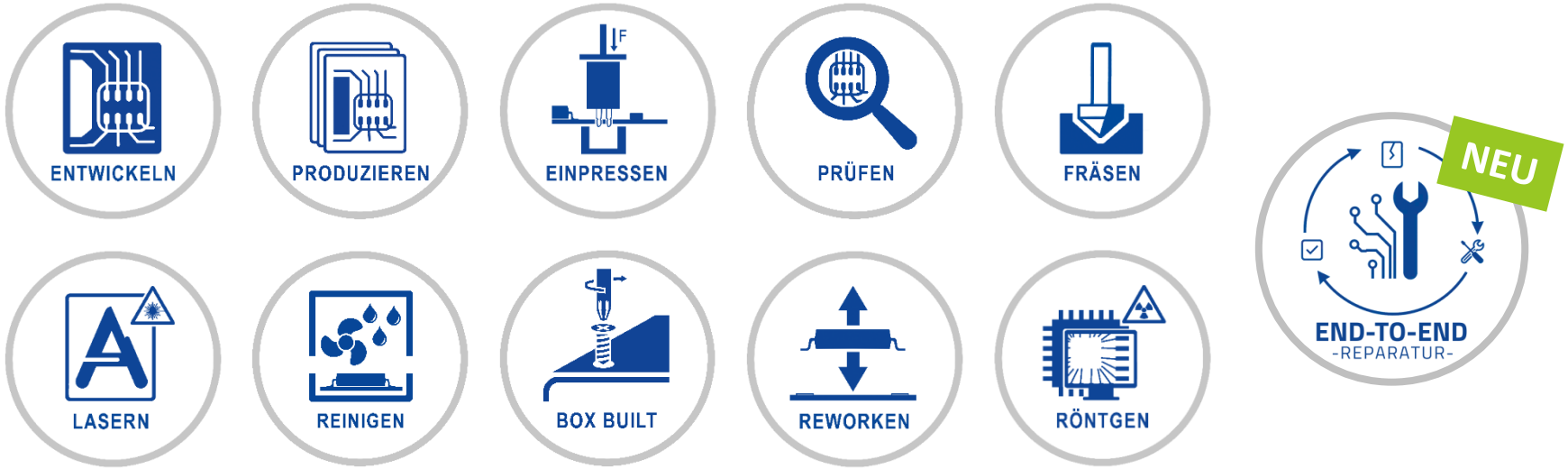
Firmenhistorie



Geschäftsfelder
Angebotsspektrum

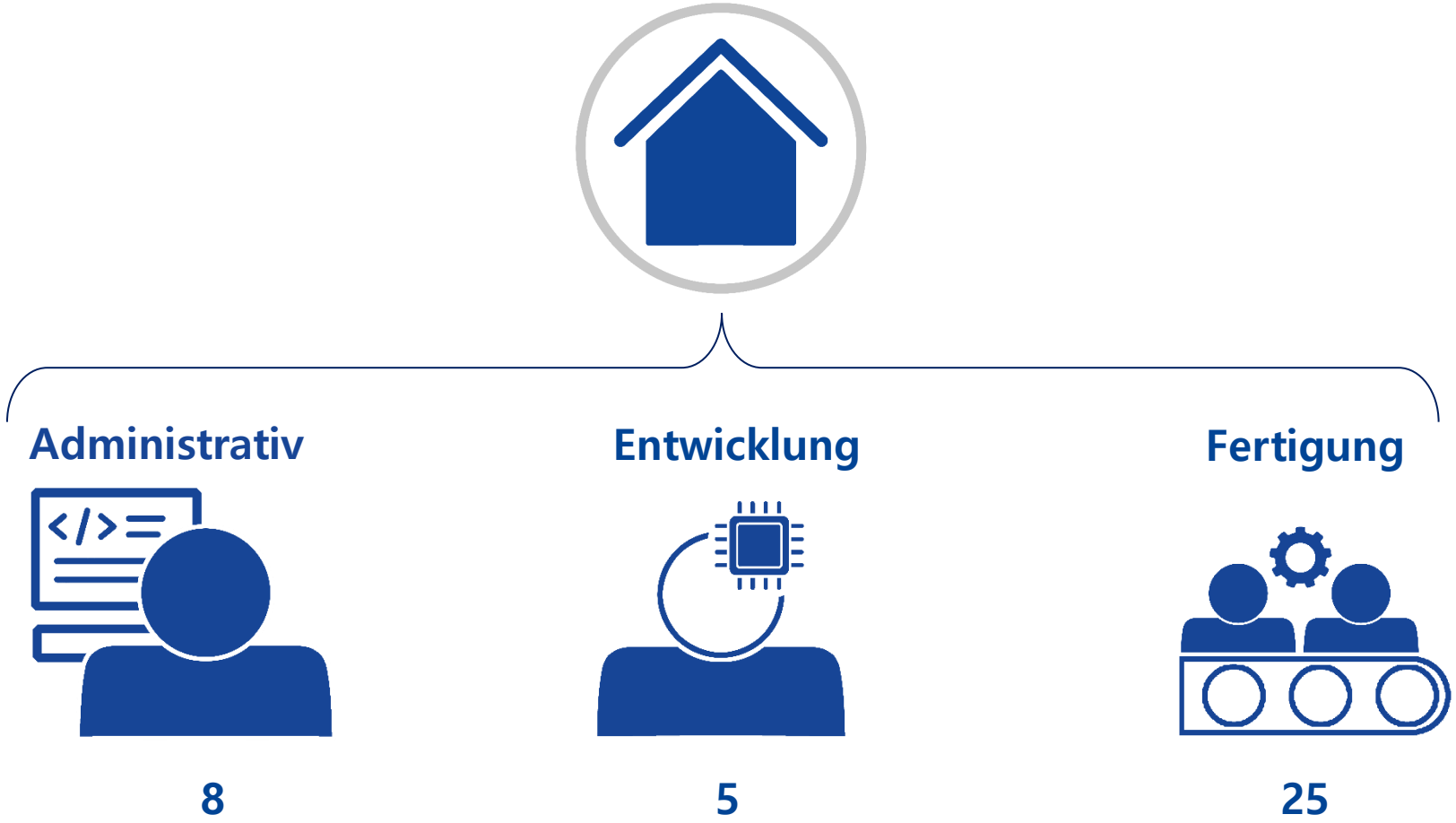
Kraus HARDWARE GmbH

Ihre Aufgabe – unser Service.

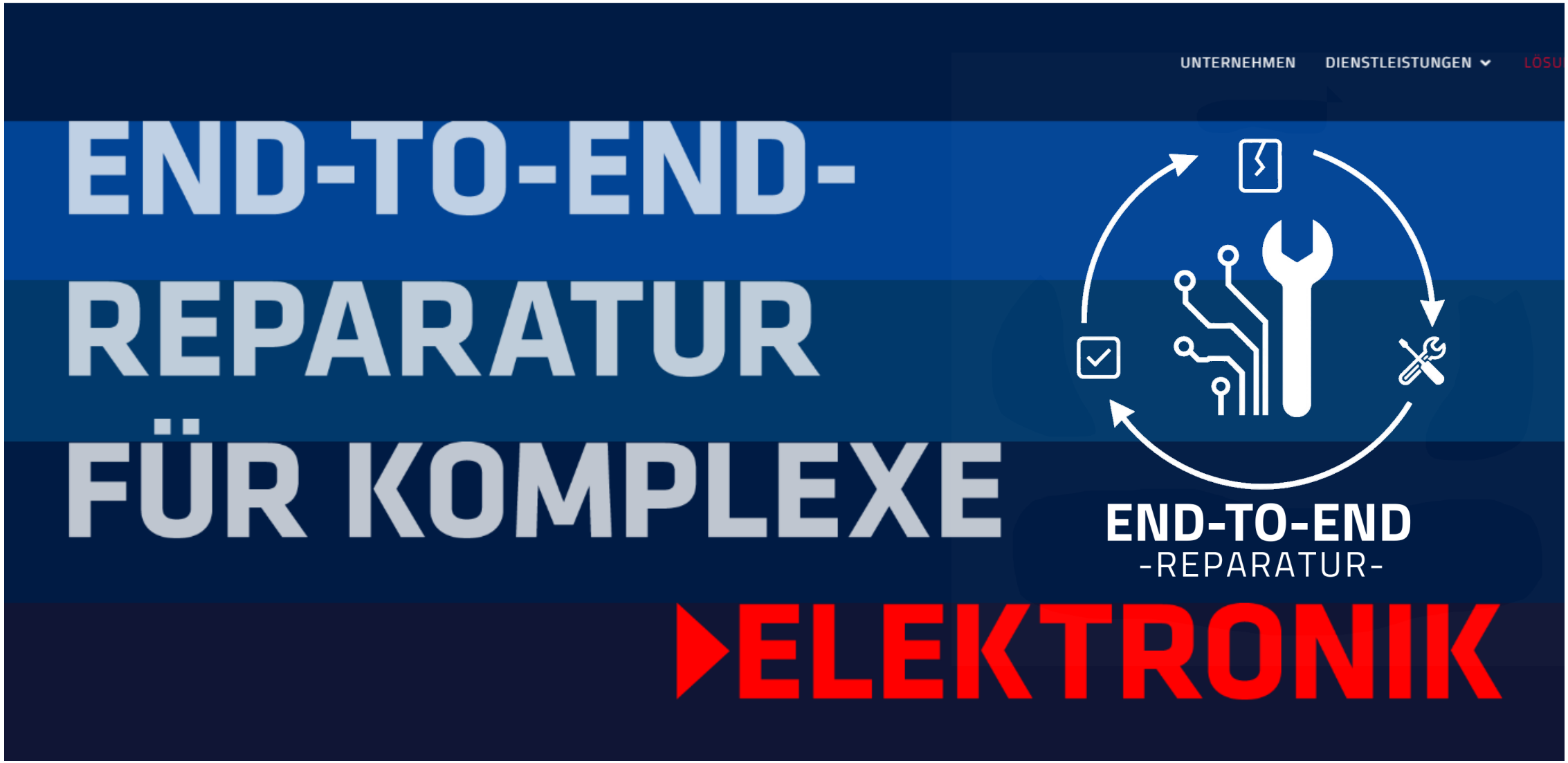


Bildquelle: Kraus Hardware | KI erzeugt

Aktuelle Daten
September 2026



Bildquelle: Kraus Hardware



Bildquelle: Kraus Hardware | KI erzeugt

Definitionen der Begriffe im Kontext von elektronischen Baugruppen und Systemen

Recycling

Aufbereitung von Materialien zur Rückführung in den Produktionskreislauf

Retrofit

Modernisierung bestehender Maschinen und Anlagen durch Austausch oder Ergänzung von Komponenten

Neuer Funktionsumfang

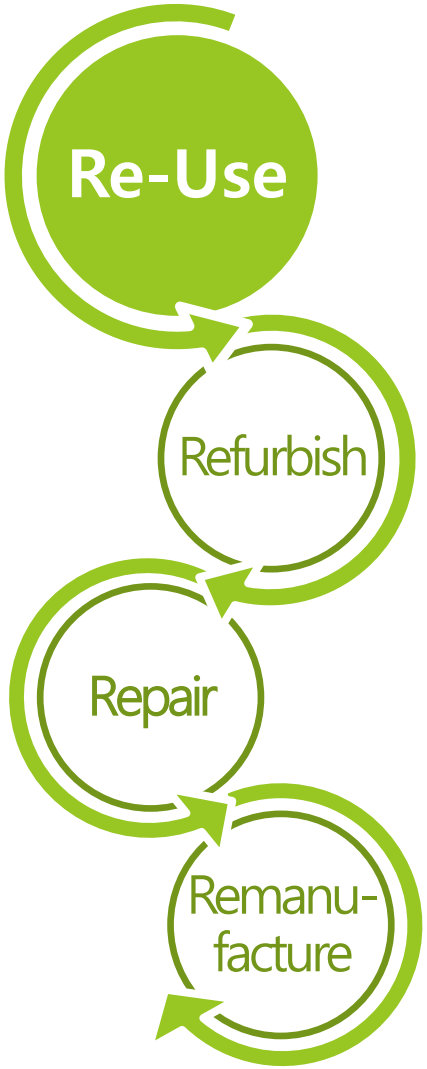
Re-Use

Oberbegriff für Strategien zur erneuten Nutzung von Produkten oder Komponenten

Identischer Funktionsumfang

Alle drei Ansätze haben ihre Berechtigung – je nach Anwendungsfall und Anforderung.
Dieser Vortrag konzentriert sich auf …

Definitionen der Begriffe im Kontext von elektronischen Baugruppen und Systemen



Prozess dient dazu, Komponenten in ihrem funktionsfähigen Zustand zu erhalten – gemäß ursprünglicher Definition

Wiederherstellung beschädigter oder defekter Komponenten in einen funktionsfähigen Zustand

Aufbau eines Produkts – in einen Zustand, der den ursprünglichen Produktspezifikationen entspricht. Dabei können wiederverwendete, aufgearbeitete und neue Komponenten zum Einsatz kommen

Langlebige Elektroniksysteme
Branchen & Lebenszyklen

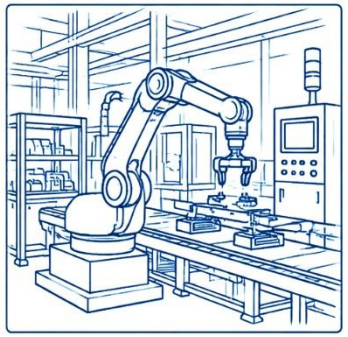
Re-Use

Refurbish

Repair

Remanu-facture

Anwendungen mit langen Betriebszeiten



Verfügbarkeit über den gesamten Produktlebenszyklus

Bildquelle: KI erzeugt

Langlebige Elektroniksysteme
Branchen & Lebenszyklen

Reparaturfähigkeit muss über den kompletten Zeitraum sichergestellt sein – mit diesen Herausforderungen:

- Bauteil-Obsoleszenz: Originalkomponenten sind nach End-of-Life nicht mehr verfügbar.
- Ressourcen: Personal, Dokumentation, Material, Hard- & Softwaretools müssen vorgehalten werden

Nicht nur die Anwendungselektronik, sondern auch das Prüfequipment muss verfügbar bleiben

- Prüfsysteme unterliegen denselben Lebensdaueranforderungen wie die eigentliche Anwendung
- Kalibrierstandards und Rückverfolgbarkeit müssen über die Produktlebenszeit nachweisbar sein
- Dokumentation kann verpflichtend sein

Neue Anwendungselektronik und Prüfsysteme erfordern aufwendige Re-Zertifizierungen

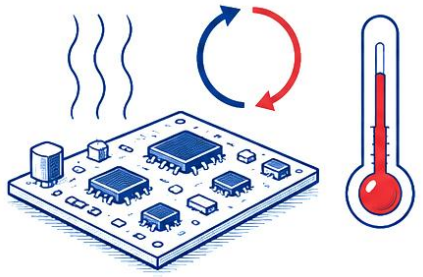
- Bestehende Zertifizierungen gehen verloren; ein neuer Validierungsprozess ist erforderlich.
- Komplettaustausch: Eine Neuzulassung kann Monate bis Jahre dauern.

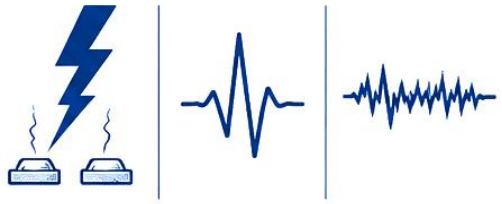
Betriebsrisiko

- Lücken in der Verfügbarkeit gefährden den Betrieb

Warum fallen elektronische Baugruppen aus?
Beispiele für Ausfallmechanismen im Überblick

Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

THERMISCH


ELEKTRISCH


MECHANISCH

UMGEBUNG

ALTERUNG

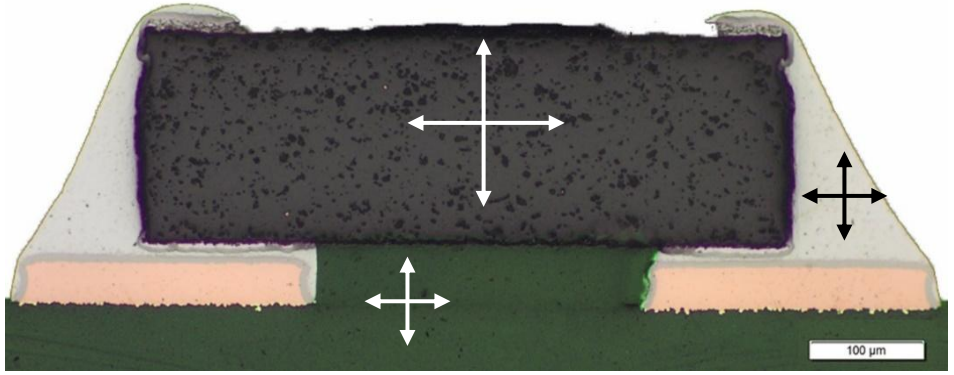
DIMENSIONIERUNG

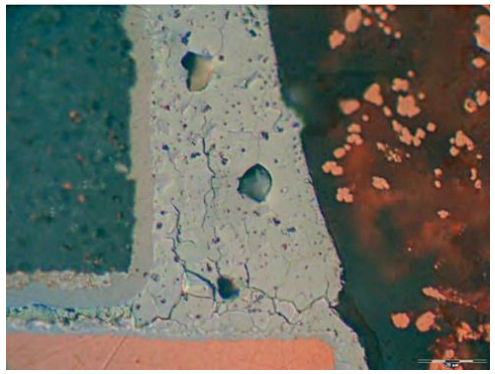
Bildquelle: KI erzeugt

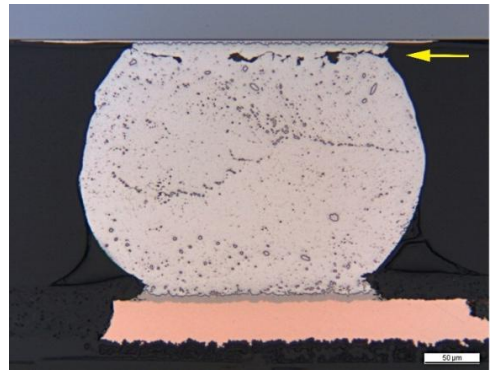
Warum fallen elektronische Baugruppen aus?
Beispiele für Ausfallmechanismen

Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

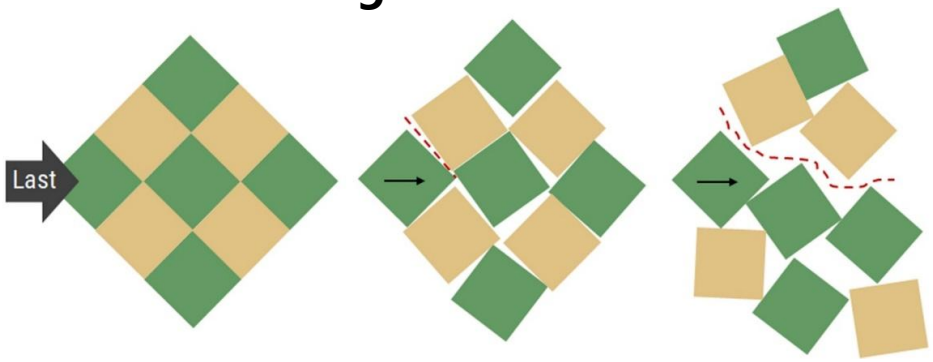
Zuverlässigkeit: Thermomechanischer Stress – Risse an Lötverbindungen







Kriechermüdung der Lote



Temperaturänderung als Hauptfaktor

Volumen-änderung → Interner Stress → Material-ermüdung

Risse entstehen und schreiten bei jedem Temperaturzyklus fort

Whitepaper zu diesem Thema in Vorbereitung

Quelle: Dr. Hans Bell

Warum fallen elektronische Baugruppen aus?
Beispiele für Ausfallmechanismen

Ausfallursache und Zuverlässigkeit von Elektrolytkondensatoren
Feldausfälle entstehen in der Praxis dominiert durch die Degradation des Elektrolyten.

Die Lebensdauer ist abhängig von:

- Temperatur
- Ripple-Strom
- Betriebsspannung

Dominanter Ausfallmechanismus: die thermisch beschleunigte Alterung

- Elektrolytverlust
- Kapazität sinkt
- ESR (Equivalent Series Resistance – der Innenwiderstand) steigt
- höhere Eigenerwärmung
- beschleunigte Alterung
- Funktionsausfall

Warum fallen elektronische Baugruppen aus?
Beispiele für Ausfallmechanismen

Zuverlässigkeit elektromechanischer Relais
Die elektrische Lebensdauer ist meist der begrenzende Faktor, weil beim Öffnen und Schließen Lichtbögen entstehen, welche die Kontaktoberfläche verändern.

Relais = mechanisches Verschleißbauteil
Im Gegensatz zu den meisten elektronischen Bauteilen besitzen Relais bewegliche mechanische Kontakte.

Lebensdauer abhängig von:

- Schaltstrom
- Lastart
- Schaltzyklen
- Umgebung

Dominierende Alterungsmechanismen:

- Schalten unter Last
- Lichtbogen
- Materialabbrand & Materialübertragung
- Kontaktwiderstand steigt
- Kontaktverschweißung / Kontaktversagen

Warum fallen elektronische Baugruppen aus?
Beispiele für Ausfallmechanismen

Optokoppler = optoelektronisches Verschleißbauteil
Im Gegensatz zu rein elektronischen Bauteilen besitzen Optokoppler eine LED als Lichtquelle, die thermischer und elektrischer Alterung unterliegt.

Zuverlässigkeit von Optokopplern
Die elektrische Lebensdauer ist meist der begrenzende Faktor, weil die LED-Lichtemission über Zeit degradiert und die CTR (Current Transfer Ratio) sinkt.

Lebensdauer abhängig von:

- Vorwärtsstrom I_F – je höher der LED-Strom, desto schneller die Degradation
- Temperatur – (Arrhenius-Gleichung – 1889 von Svante Arrhenius entwickelt: jede Temperaturerhöhung um 10°C halbiert annähernd die Lebensdauer)

Dominanter Alterungsmechanismus:

- CTR-Degradation durch LED-Alterung
- LED-Lichtleistung, CTR sinkt
- Ausgangsstrom zu niedrig
- Schaltungsfehler
- Funktionsausfall

Motivation für Re-Use von elektronischen Baugruppen und Systemen im Gesamtkontext

Vorhalten von:

- Bauteilen
- Entwicklungssoftware (Schaltplan-, Layoutsystem)
- Prüfequipment
- Prüfsoftware
- Programmiertools (im Einsatz eher selten)

Herausforderung:

- Personal, das sich mit Equipment und dem Produkt auskennt
- Testsysteme sind nicht mehr käuflich
- IT lässt sich nicht mehr in die aktuelle Infrastruktur integrieren
    - ➢ Lösung Kraus-HW: Maschinennetz

Bildquelle: Kraus Hardware

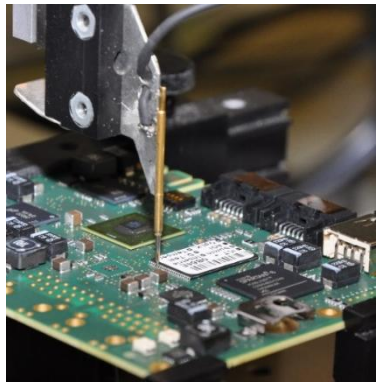
Vom Fehler zur Reparatur
Analyse- und Reparaturmethoden für Re-Use

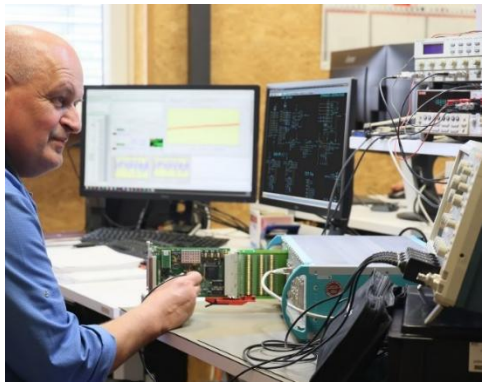
Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

Zuverlässige Fehleranalyse mit optischen und elektrischen Prüfungen

MOI

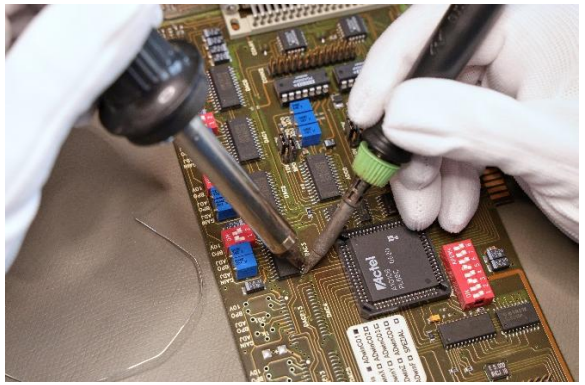
RÖNTGEN

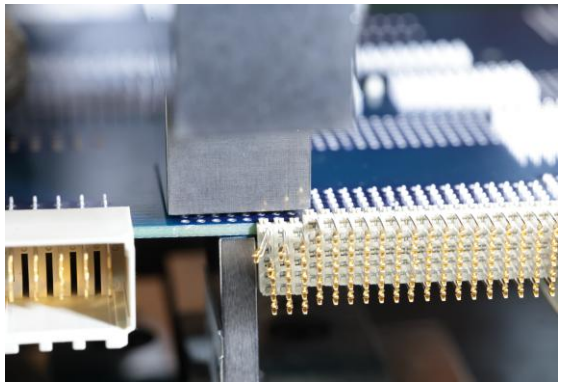

FLYING PROBE


FUNKTIONSTEST

BOUNDARY SCAN

Die richtigen Reparaturmethoden, je nach Baugruppe und Fehlerbild


(Heißluft-)Lötstation


Press-Fit/Einpresstechnik

Reworkanlage

Bildquelle: Kraus Hardware

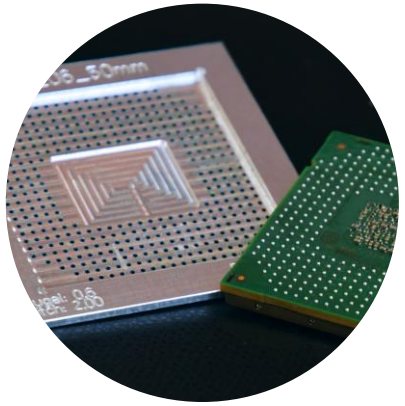
Repair durch professionelle Rework-Prozesse
Know-how, Equipment und Reproduzierbarkeit

Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

BGA-Tausch mit Reballing

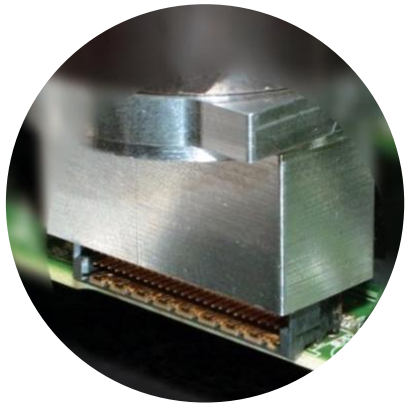
1. Bauteil ablöten

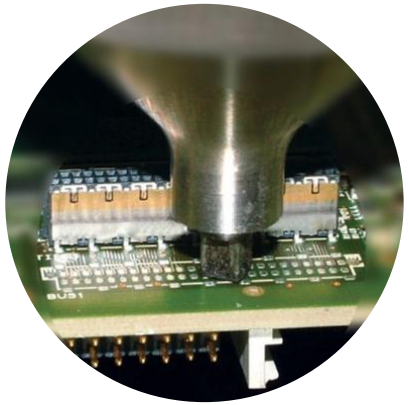
2. Restlot absaugen


3. Reballing

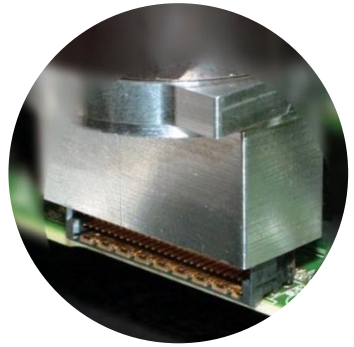
4. Bauteil auflöten

SMD-Steckverbinder-Austausch


1. Bauteil ablöten


2. Restlot absaugen

3. Lotpaste drucken


4. Bauteil auflöten

Bildquelle: Kraus Hardware

Re-Use in der Praxis: Wirtschaftlichkeitsbeispiel
Kälte-Wärme-Kammer bei Kraus Hardware

Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

Ausgangssituation
- Gerät ist 22 Jahre alt
- OEM produziert nicht mehr (End-of-Life)
- Keine Ersatzteile verfügbar

Kostenargument
- Neugerät: ca. 40.000 €
- Keine Prozessverbesserung

Herausforderungen
- Keine Schaltpläne
- Reparatur erfordert Erfahrung

Ergebnis
- ✓ Hohe Investitionssumme wurde vermieden
- ✓ Anpassung der Gerätesteuerung über Testsoftware vermieden
- ✓ Keine Freigabe-/Qualifizierungsprozesse

Chance: Reparatur-Kooperation als Win-Win-Situation

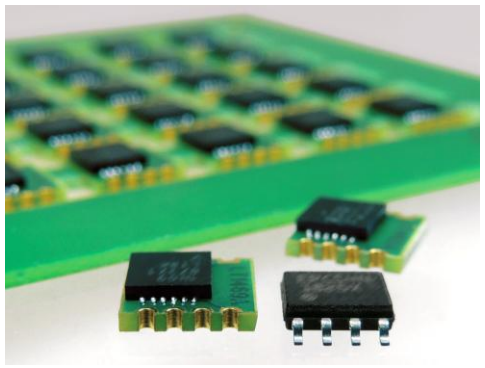
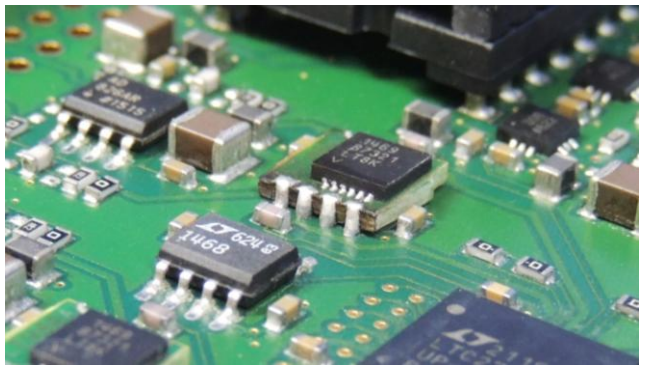
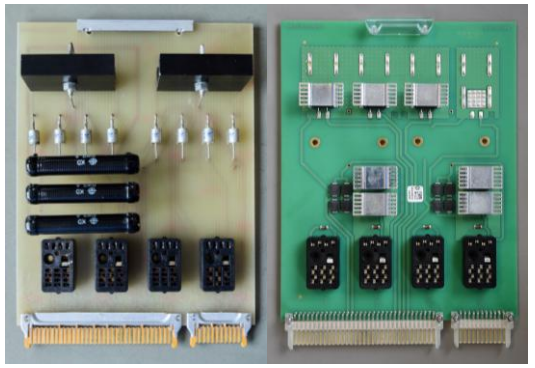
Bildquelle: Kraus Hardware

Remanufacture im Re-Use-Kontext
Von der Adapterlösung bis zum kompletten Baugruppen-Nachbau

Re-Use
Refurbish
Repair
Remanu-facture

Remanufacture-Lösungsoptionen (IP-Rechte?)

- Adapter für einzelne ICs (pin-kompatible Ersatzschaltungen)
- Teil-Nachbauten (kritische Sub-Module)
- Komplett-Nachbauten ganzer Baugruppen
- Reverse Engineering & Schaltungsanalyse
- Eigene Entwicklung & Produktion durch Kraus-HW
- Prüfung & Qualifizierung nach Originalspezifikation

Bildquelle: Kraus Hardware

Qualitätssicherung in der Prozesskette

Geprüfte Qualität: Die Grundlage für erfolgreichen Re-Use

Re-Use

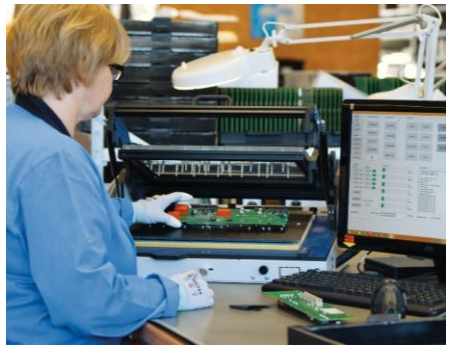
- Refurbish
- Repair
- Remanu-facture

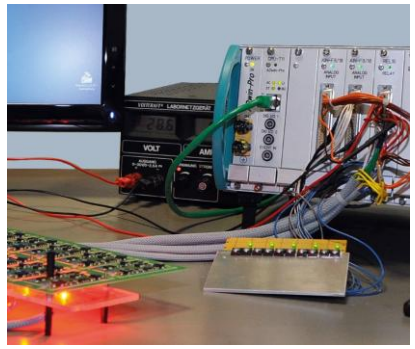
PRÜFUNGEN

OPTISCH

MOI / RÖNTGEN

ELEKTRISCH





FUNKTIONSTEST

THERMISCH

KÄLTE-WÄRME-KAMMER

Ob Refurbish, Repair oder Remanufacture –
die Funktionssicherheit der Baugruppe muss sichergestellt sein

Bildquelle: Kraus Hardware

Fazit: Re-Use als strategische Entscheidung
Gesamtwirtschaftlichkeit betrachten

Kernerkenntnis

Der Wert von Re-Use wird NICHT durch die einzelne Baugruppe bestimmt, sondern durch das GESAMTSYSTEM oder sogar den verketteten ANLAGENVERBUND

Wann Re-Use sinnvoll ist

- ✓ Lange Lebenszyklen
- ✓ Kritische Infrastruktur (Verfügbarkeit priorisieren)
- ✓ Zertifizierungshürden (Neuzulassung vermeiden)
- ✓ Keine Prozessverbesserung durch Neugerät
- ✓ Budget-Restriktionen (Investition vermeiden)

Abwägung im Einzelfall

Nicht jede Situation ist für Re-Use geeignet. Eine wirtschaftliche und technische Betrachtung vorab schafft Klarheit und Handlungssicherheit.

Fazit: Re-Use als strategische Entscheidung
Gesamtwirtschaftlichkeit betrachten

Empfehlung

Re-Use strategisch und nicht reaktiv planen – auch bei Anlagenherstellern

- ✓ Obsoleszenzmanagement früh implementieren
- ✓ Reparaturkooperationen vor Defekt vereinbaren
- ✓ Ersatzteilverfügbarkeit langfristig sichern

Warum lohnt sich Langlebigkeit für Anlagenhersteller?

- ✓ Kundenbindung
- ✓ Wiederkehrende Einnahmen
- ✓ Höhere Margen – Service ist profitabler als Neugeräte
- ✓ Wettbewerbsvorteil – Verfügbarkeit als USP
- ✓ Markenreputation – Einsatzzeit als Botschaft an den Kunden

Gefördertes Forschungsprojekt: Nachhaltige Industrieelektronik

Kraus Hardware im Verbundvorhaben „Infinite“

Verbundvorhaben:

Infinite – Nachhaltige Industrieelektronik durch zertifizierfähige Nutzzeitverlängerung nach Repair, Remanufacture, Refurbishing

- Projektträger Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH
- Förderkennzeichen: 03EI5029D

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Arbeitspakete von Kraus-HW aus dem Kooperationsprojekt

- ✓ Laser-basiertes Reballing von BGA-Bauteilen
- ✓ Verfahren zur Beschichtungsentfernung
- ✓ Maschinelle vs. manuelle Rework-Prozesse
- ✓ Temperaturprofilanalyse & Prozesskontrolle
- ✓ Röntgenuntersuchungen an QFN-Bauteilen

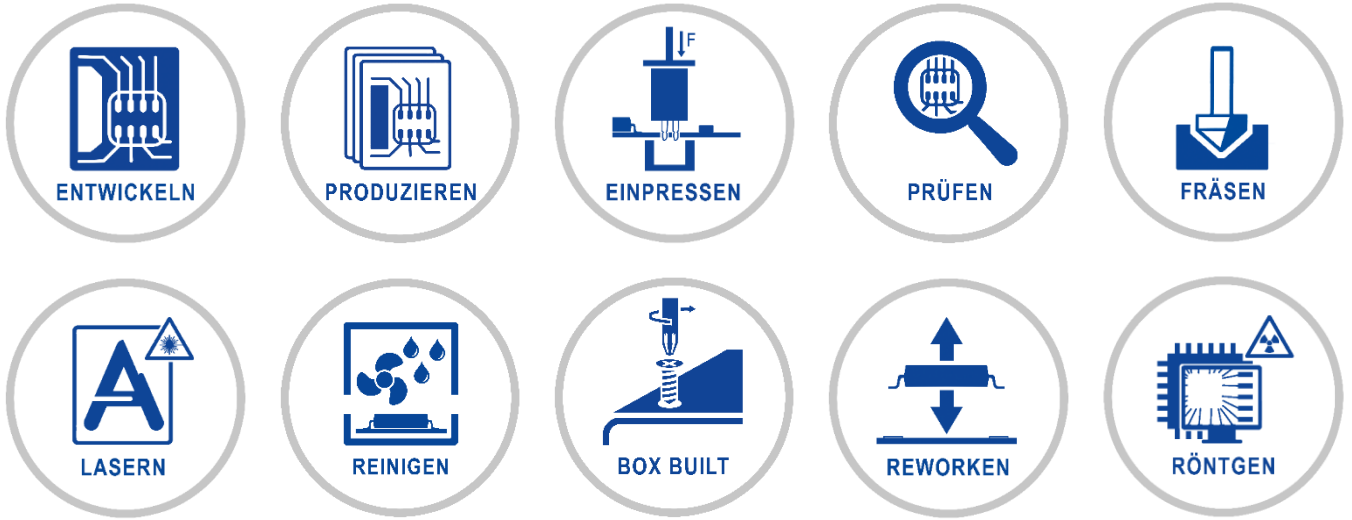
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Bildquelle: www.fernwaerme-digital.de | https://klimaschutz.hohen-neuendorf.de

Re-Use beherrschen – alle Disziplinen aus einer Hand

Kompetenzen für nachhaltige Elektronikinstandsetzung

Re-Use ist mehr als Reparatur – es ist Systemkompetenz



Bildquelle: Kraus Hardware | KI erzeugt

„Probleme lösen heißt: zuhören.“ –

Richard Branson

Stellen Sie mir gerne noch Fragen!

Bleiben Sie in Kontakt …

… folgen Sie mir auf LinkedIn