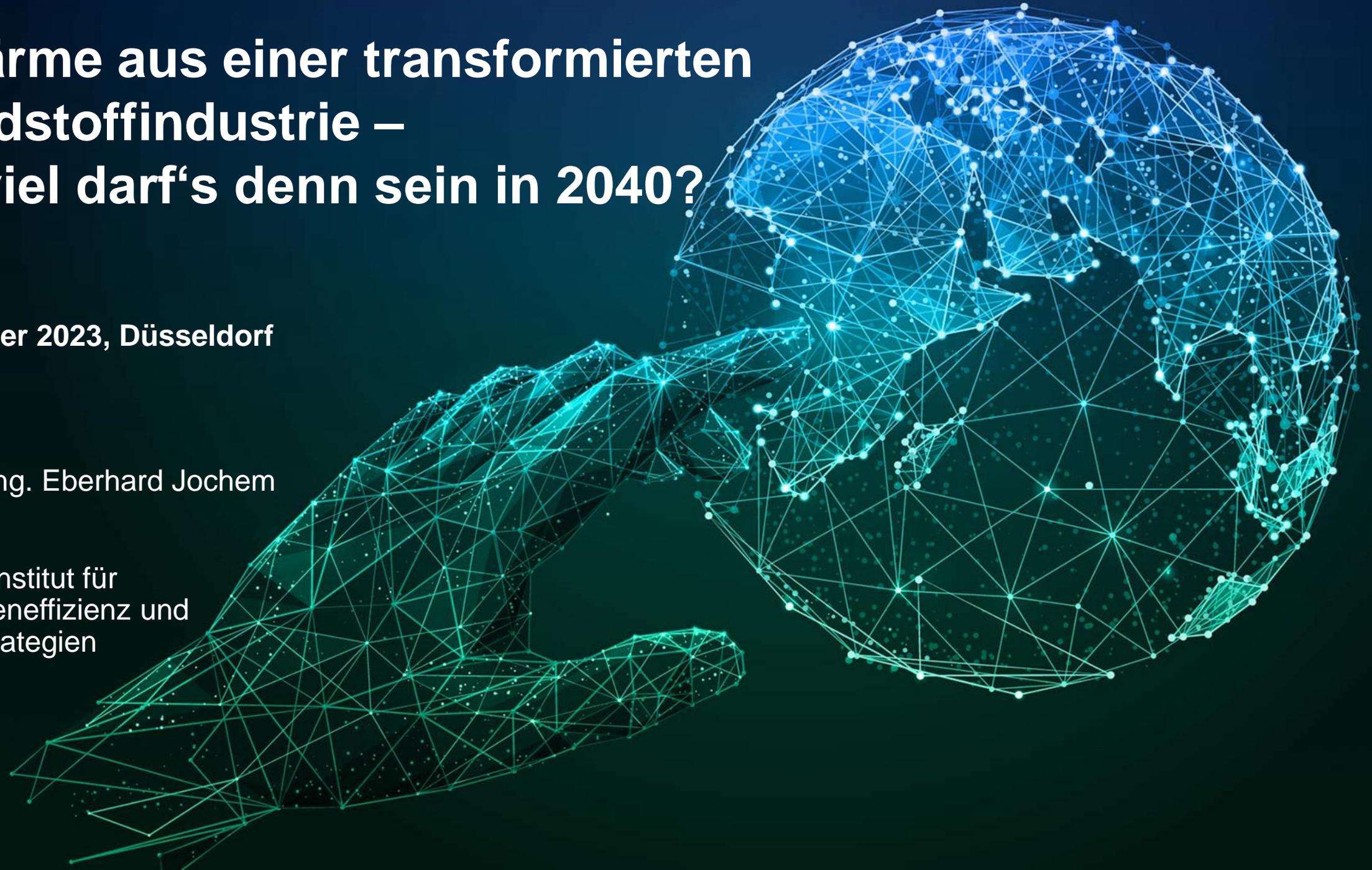


Abwärme aus einer transformierten Grundstoffindustrie – Wie viel darf's denn sein in 2040?

19. Oktober 2023, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jochem

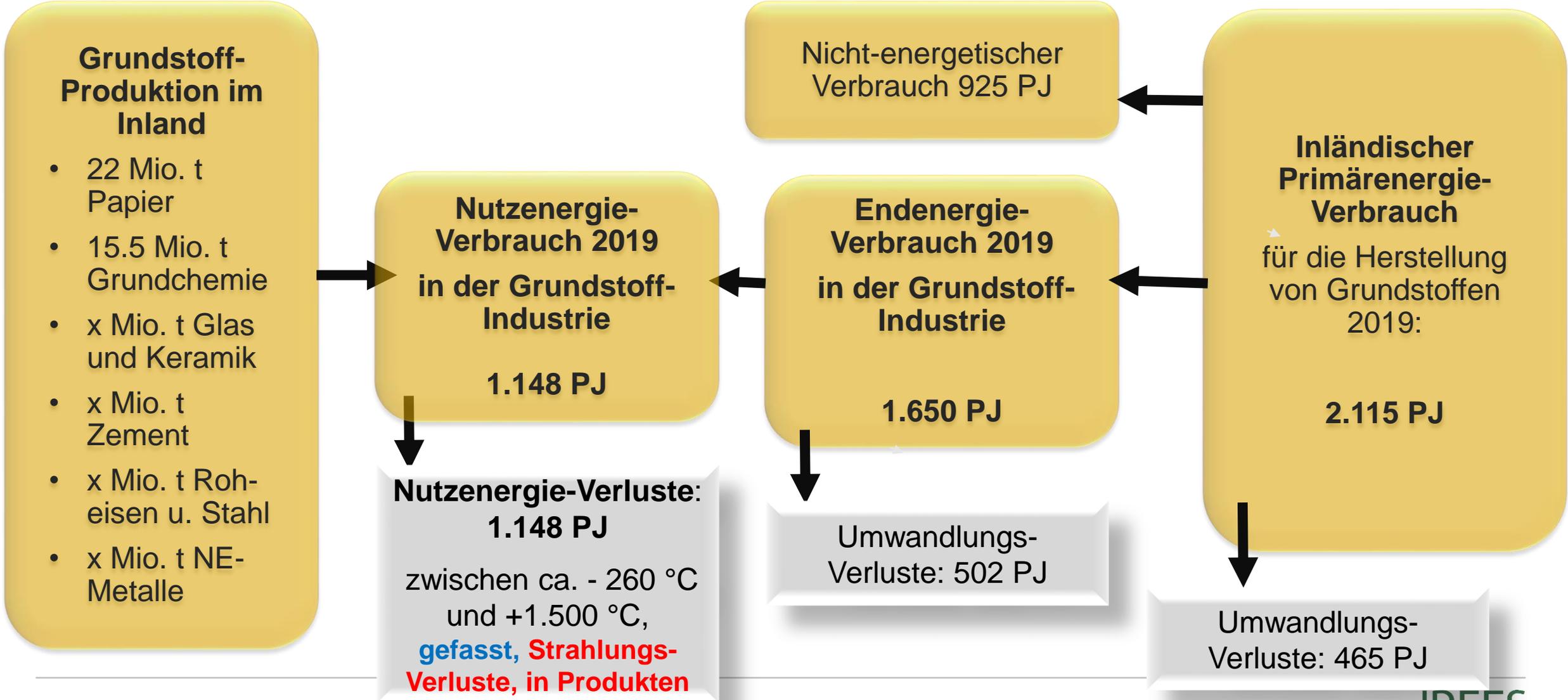
IREES – Institut für
Ressourceneffizienz und
Energiesstrategien



Überblick -

- Abwärmenutzung in der Grundstoffindustrie: von geringer Nutzung heute zum Hoffnungsträger als neue CO₂-freie Energiequelle betriebsintern und für Dritte?
 - Nutzenergie-Verluste = Abwärmepotentiale heute
 - Faktoren, die den Abwärmeeinfall der Grundstoffindustrie in Zukunft verringern
- Komplette Prozess-Substitutionen – zwei Beispiele
- Prozessoptimierungen und Wechsel der Wärmeerzeugung (mit Spülluft und Prozess-Gas)
- Höhere Gas-, Feuchte und Staubkonzentrationen in Abgasströmen – schaffen das die Wärmeübertrager?
- Plädoyer für die Abwärmenutzung aus heißen Halbfertigprodukten

Nutzenergie-Verluste, ein Teil davon Abwärmepotential der Grundstoff-Industrie heute



Faktoren, die den Abwärmeanfall in decarbonisierten Prozesse schmälern

Neue globale Arbeitsteilung:

Roheisen-, Ammoniak u. org. chemische Grundstoff-Produktion in sonnigen Ländern mit Wüsten und hoher Kapitalverfügbarkeit
weniger Grundstoffherstellung in D

Ressourceneffizienz reduziert Grundstoffbedarf

- leichtere Bauweise, Bionik-Design,
- höhere Recyclingquoten gegenüber heute, andere Zuschläge im Beton,
- Substitution durch Materialien mit weniger spezifischem Energiebedarf
- Leihen (Sharing), gute Reparierbarkeit

Produktion und Energiebedarf von Grundstoffen in Deutschland

Neue Prozesstechniken mit

- geringerem Temperatur-Niveau (z.B. Membranen statt thermischer Trennung)
- geringerem spezifischen Energiebedarf (besser isolierte Prozessöfen)
- Abwärmenutzung aus heißen Halbfertigerzeugnissen

Elektrothermische Prozesse statt fossil befeuerte Prozesse

Spülluft als verbleibender gefasster Abwärmestrom

Wasserstoff- statt Erdgas-Nutzung

- mit reinem Sauerstoff (Oxy-Fuel)
- mit reinem Sauerstoff und Spülluft

Direkt-Reduktion bei der Roheisen mit H₂ statt Hochofen mit Koks

- **keine Schmelze**, sondern Reduktion des Eisenerzes mit H₂ im festen Zustand bei deutlich niedrigeren Temperaturen;
- entstehender „Eisenschwamm“ wird mit Recycling-Stahl in Elektroöfen produziert (ähnlich wie mit Roheisen)
- geringere Strahlungswärme-Verluste; geringere Abwärme-Volumenströme wegen fehlendem Luftstickstoff;
- Unterschiede der gewinnbaren Abwärmemengen für ORC-Anlagen oder Fernwärme-Netzeinspeisung noch in der genaueren Analyse.

Trocknung von Papier oder Ziegeln und Keramik durch HT-Wärmepumpen (z. Zt. bis 180 °C)

- keine Dampf- oder Heißluft-Nutzung für die Trocknung von Grundstoffen wie Papier, Pappe oder Ziegeln und keine Ableitung über Dach mehr,
- vielmehr Nutzung der Kondensationswärme und Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen (bis 180°C), „Führen der Wärme im Kreislauf“.

Prozessenergie-Optimierungen und Wechsel der Wärmeerzeugung (mit Spülluft und Prozess-Gas)

Weniger Nutzwärme-Bedarf vor dem Energiewechsel auf Strom, Biogas, Wasserstoff oder geothermische Energie mittels:

- Isolation von Öfen und Anlagen mit Wärmeprozessen zwischen 100°C und ca. 650°C , (Oberflächenbehandlung, thermische Trennverfahren) zur Verminderung von Strahlungsabwärmeverlusten,
- Automatisierung, Sensorik, Simulation, Fernwirkung bei thermischen Produktionsprozessen,
- Umstellung von Batch- auf Continue-Prozess (Vermeidung von An- und Abfahrverlusten),
- ORC-Einsatz zur Stromerzeugung aus Abwärme mit höheren Temperaturen (z.B. bei Glas, NE-Metallen) oder Kälteerzeugung durch Sorptionstechnik und Abwärmenutzung

Abwärmemengen-Veränderungen

- ca. zwei Drittel weniger bei fossil-gefeuerten Anlagen als zuvor infolge fehlendem aufgeheizten Luft-Stickstoff im Abgas (plus Spülluft),
- mehr betriebsinterne Abwärmenutzung durch intensivere Nutzung der Pinch-Methode und Aufgabe von Quensen von Abwärmeströmen (mehr Abwärme mit höheren Temperaturen)

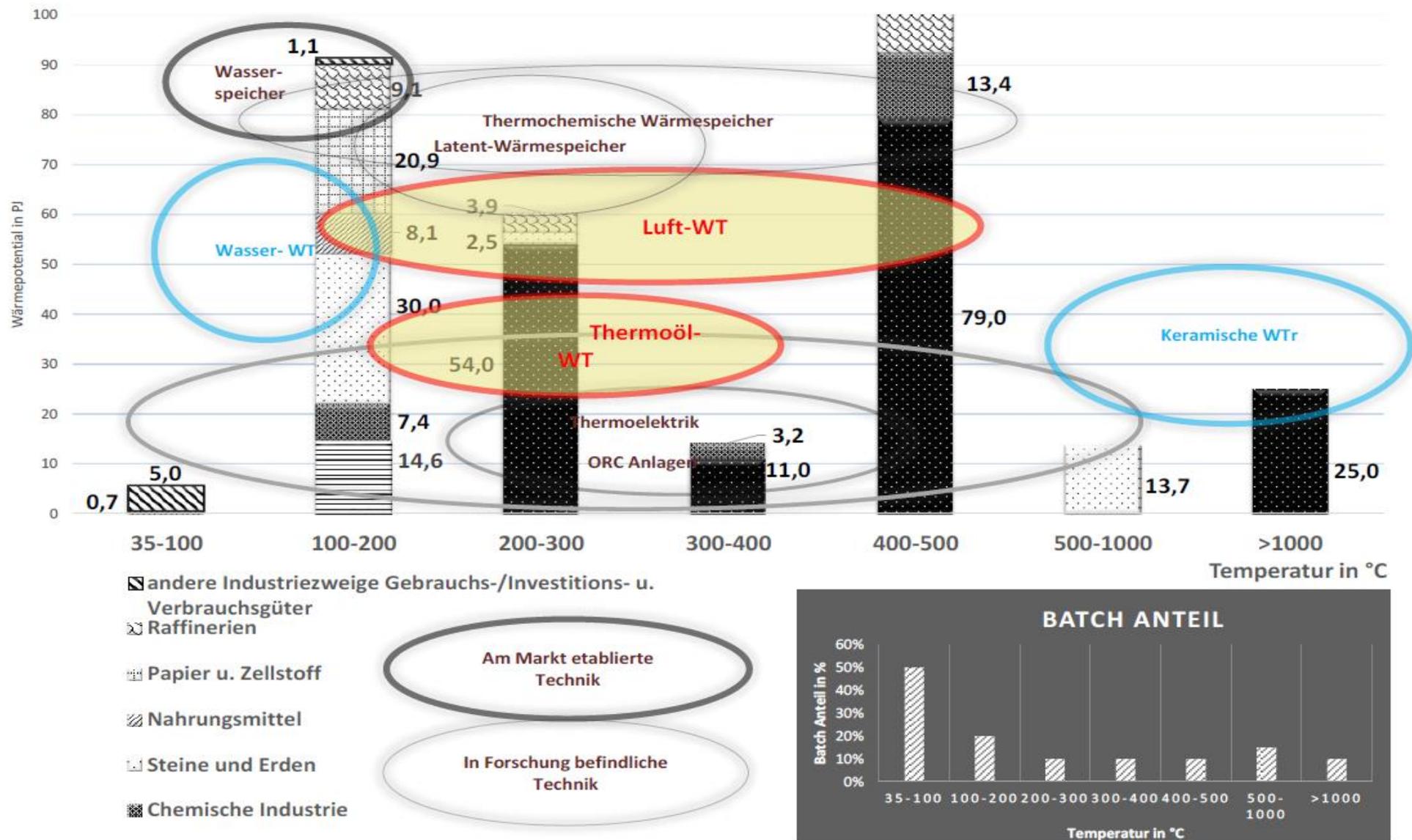
Die Temperatur-Niveaus von Nutzenergie und Abwärmen werden sich ändern

Temperatur-Intervall °C	Abwärmepotential PJ/a
100 - 200	90
200 - 300	55
300 - 500	113
500 - 1.000	13
> 1.000 °C	25

Summe ca. 300 PJ (12%)

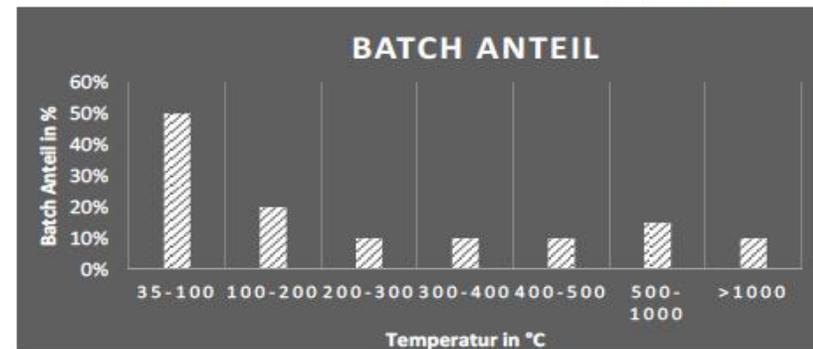
Temperatur-Intervall °C	Endenergie-Bedarf 2019 PJ/a
100 - 200	430
200 - 300	300
300 - 500	250
500 - 1.000	350
> 1.000 °C	1.110
Summe	2.440

Abwärmepotential nach Branchen und Temperatur



Quellen: E. Jochem, IREES 2023

Potentiale ohne Strahlungsabwärmern und produktinterne Wärme



Zwischenfazit: deutlich weniger Abwärme-Potential in 2045 als heute

Neue Produktionstechniken vermindern den Abwärme-Anfall (z. B. Eisenschwamm-Direktreduktionsverfahren), auch internationaler Wettbewerb und Ressourceneffizienz werden die heutigen Produktionsmengen bei manchen Grundstoffen deutlich vermindern.

Die Effizienz-Potentiale bei den Re-Investitionen und den Substitutionen der Endenergieträger (zu Strom und Wasserstoff-oxy fuel) reduzieren Strahlungsabwärme und gefasste Abwärmeströme von Abgasen, allein schon wegen fehlendem erhitzten Luftstickstoff bei bisher fossiler Verbrennung.

Als Folge:

- die Nutzenergiemengen der Grundstoff-Industrie von heute 1.150 PJ/a werden bis 2040 deutlich sinken;
- Ob nutzbare Abwärmepotentiale sinken, stagnieren oder steigen, ist derzeit offen.
- Auch die Temperaturen und batch-Betriebsanteile werden sich in ihrer Verteilung ändern.

Die Risiken: nachteilige Standortfaktoren (Produktionskosten von Strom und grünem H₂; zu langsamer Aufbau von Strom- und H₂-Transport-Infrastruktur), Wettbewerb technischer Optionen und geopolitische Entwicklungen (inkl. Chinas Technologieführerschaft)



Schaffen vorhandene Wärmetauscher die höhere Feuchte und höhere Gas- und Staubkonzentrationen ohne mehr Fouling und Korrosion?

Wenn die Abwärmeevolumina je Produktionseinheit kleiner werden und bei H₂-Feuerung mehr Wasserdampf entsteht,

- sind Gas- und Staubkonzentrationen im Abgas höher, ebenso der Wasserdampfgehalt (bei H₂-Feuerung);
- Können übliche Wärmeübertrager genügen? mehr Korrosion ? mehr Fouling? mehr Reinigung?

Während deutsche Patente zu Wärmeübertragern immer mit USA und Japan auf Platz 1 – 3 liegen,

- liegen bei den internationalen Publikationen deutsche Autoren auf Platz 5 mit 73 Veröffentlichungen;
- China bei 8 WÜ-Gruppen 7 Mal auf Platz 1 (USA: 1 Mal), Iran und Indien deutlich vor deutschen Autoren.

Tabelle 5: Anzahl der aktuellen Publikationen für Mitteltemperatur-Wärmetauscher nach Ländern (Autoren und ihre Nationalität) – unterschiedliche Perioden beachten

Betrachtete Periode	2019		2010-2019		2019		2010-2019		2010-2019	
Position	Gesamte Publikationen		Korrosion		Beschichtung		Graphit		Keramik	
1	China	446	China	78	China	71	China	29	USA	29
2	USA	188	USA	52	USA	27	USA	13	GERMANY	18
3	IRAN	130	GERMANY	25	IRAN	18	FRANCE	11	China	15
4	INDIA	116	SOUTH KOREA	15	SOUTH KOREA	18	CANADA	5	ITALY	8
5	GERMANY	73	JAPAN	14	INDIA	16	JAPAN	5	BRAZIL	7

Viel CO2-freie Abwärme aus der Grundstoffproduktion für die Fernwärme?

Abwärme aus industriellen Prozessen für die Nah- und Fernwärmenetze der Zukunft:

- Karlsruhe: 80 MW aus der Raffinerie Miro und 20 MW aus der Papierfabrik Stoa,
- Hamburg: 20 MW aus Kupferhütte Aurubis; Planung, bis auf 60 MW ausbauen,
- Potentialstudie: 29 PJ Abwärme aus Industriestandorten für FW = Energiebedarf für 0,5 Mio. Haushalte .

Was mit Raffineriestandort Miro, wenn kein Erdöl mehr verarbeitet wird nach 2045?

Was mit Abwärme aus der Papiertrocknung, wenn die Wärme mit HT-Wärmepumpen intern genutzt ist?

Neue Abwärmequellen: [Abwärmenutzung aus heißen Produkten der Grundstoff-Industrie](#)
(z.B. abkühlenden Stahl- und NE-Metall-Halbfertig-Fabrikaten, Glas und Keramik, Ziegel, Papier)

[bewusst Kritik-Fachgespräche](#) und branchenspezifische Ideen-Workshops ansetzen mit :

- Technologen, Makro-Ökonomen, Politologen (Optionen, Standorte, Policies)
- Vertretern technischer Alternativen

Fazit: deutlich weniger Abwärme-Potential in 2045 als heute?



- Bisher gefasste Abwärmeströme und Strahlungsverluste werden deutlich abnehmen.
- Neue Abwärmepotentiale gewinnbar aus Umstellung Batch-Continue und heißen Produkten

Mit Analysen, Szenario-Technik und Gesprächen mit Fachleuten im In- und Ausland die bestehenden Chancen und Unsicherheiten **fortlaufend** abklären und Entscheidungen treffen.

Nah- und Fernwärme sind eine wenig erschlossene Abwärmesenke der Grundstoff-Industrie; Regionen mit zusätzl. Tiefen-Geothermie, Holzabfällen oder Biogas haben saisonale Vorteile.

Die Risiken für:

- die Unternehmen: Wettbewerb technischer Optionen und ausländischer Produzenten,
- Nah- und Fernwärme: Überschätzung verfügbarer industrieller Abwärme in den 2030ern,
- Maschinen- u. Anlagenhersteller: zu wenig Achtsamkeit für veränderte Gas-, und Staub-Konzentrationen in gefassten Abgasströmen; zu späte Entwicklung von hocheffizienten, de-carbonisierten Prozesstechniken und angepassten Wärmeübertragern (vgl. China).

Es braucht: **alerte Unternehmen, laufende Beobachtung, flexible FuE- und Industriepolitik**



Die unklare, eilbedürftige Transformation der Grundstoffindustrie – ihre Abwärme - ein Moving Target und eine CO2-freie Energiequelle: ein Chancen- und Risiko-Management steht an!

IREES
research for future.

Eberhard Jochem

Tel.: + 49 721 9152636-26

e.jochem@irees.de

**IREES – Institut für
Ressourceneffizienz und
Energistrategien**

Durlacher Allee 77,
76131 Karlsruhe,

www.irees.de