

Industriepakt Workshop TB3 (Prozesstemperaturen < 300°C) | Gelsenkirchen

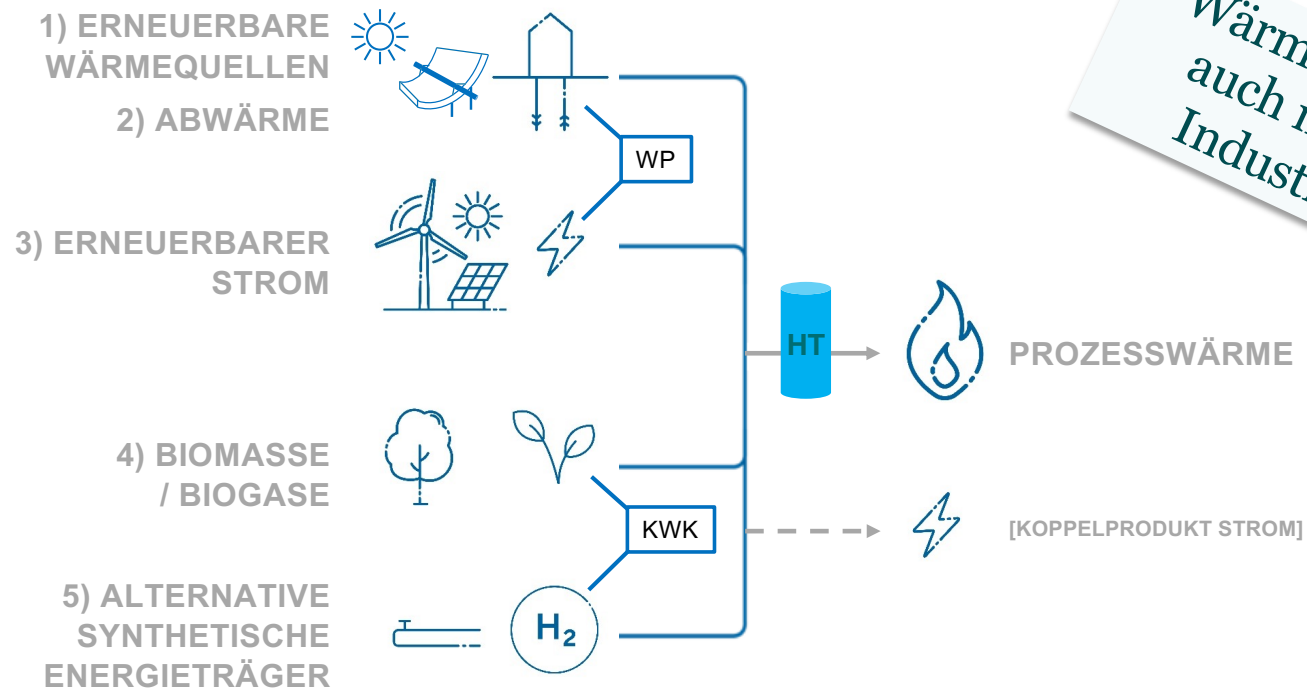
SWOT-Analyse von Technologieoptionen für die Prozesswärmebereitstellung

16. Mai 2023

Dietmar Schüwer (Senior Researcher)

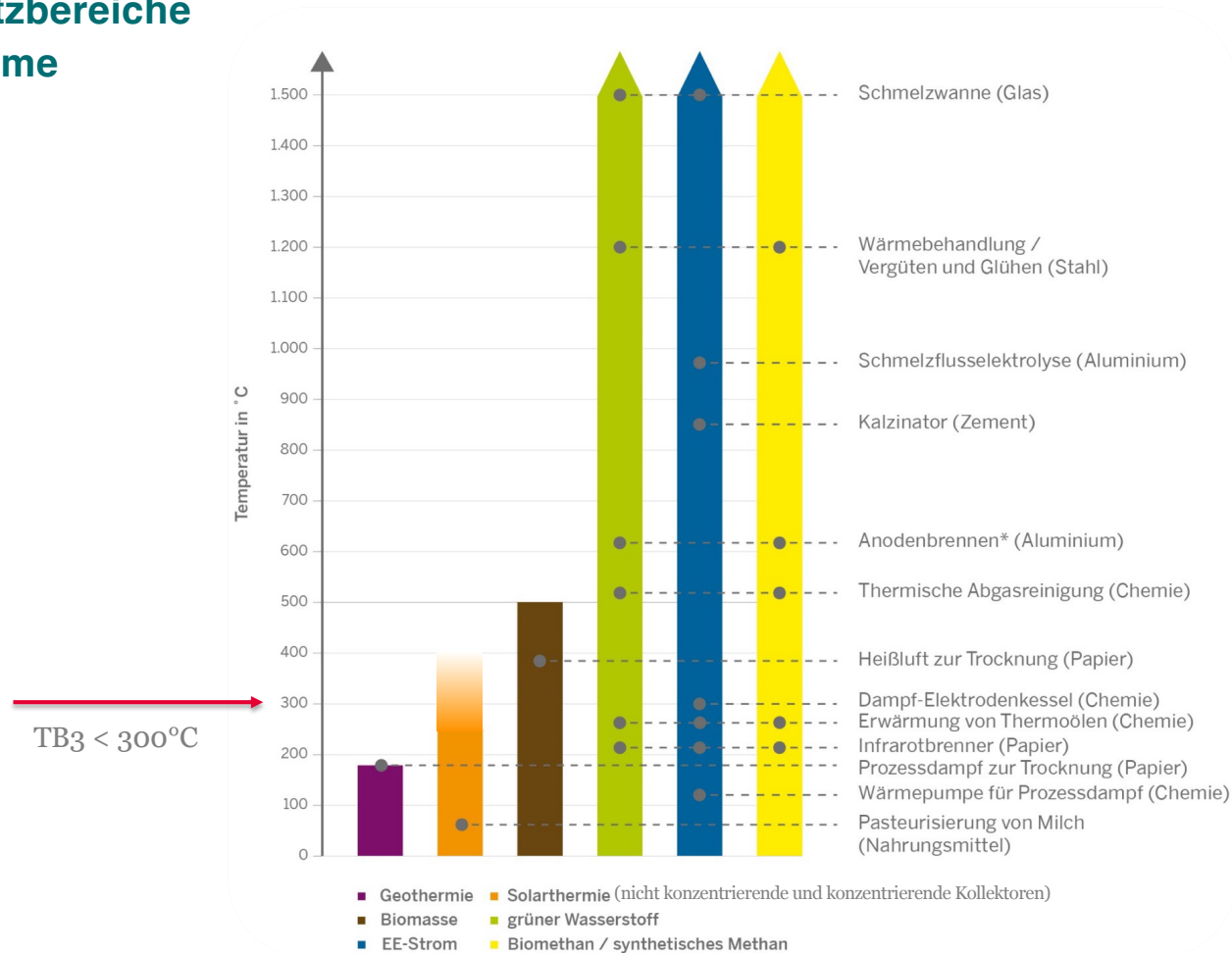
Forschungsgruppe Zukünftige Energie- und Industriesysteme

Hebel für klimaneutrale industrielle Prozesswärme: Erneuerbare Wärmequellen, Energieträger und Technologien



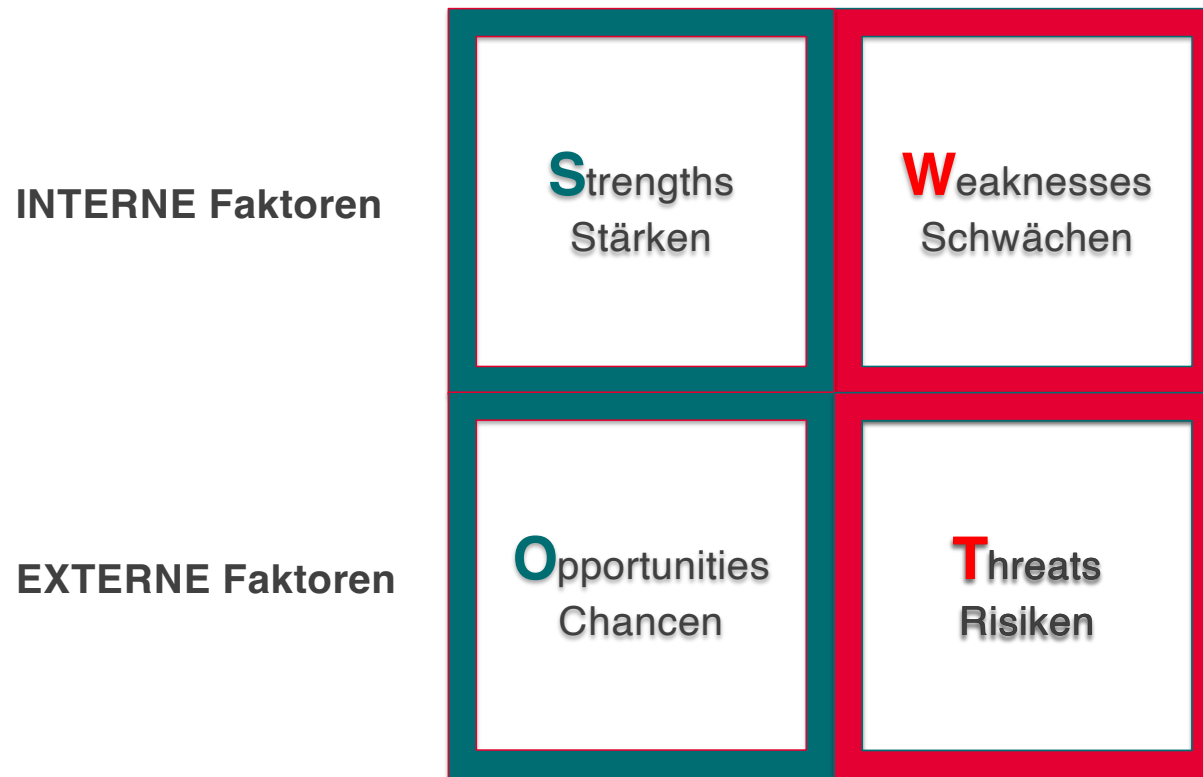
Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

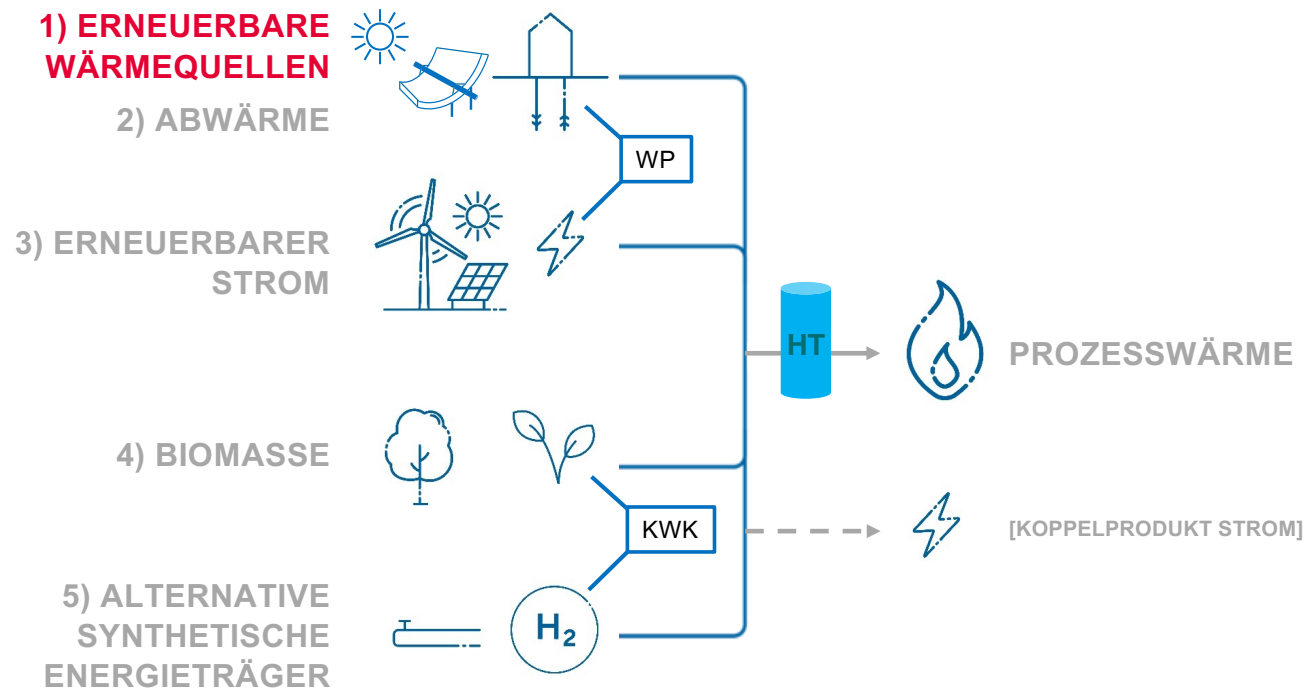
Erzielbare Temperaturen und potenzielle Einsatzbereiche erneuerbarer Wärme



Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

SWOT-Analyse





Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

1) Erneuerbare Wärme:
SWOT Oberflächennahe Geothermie

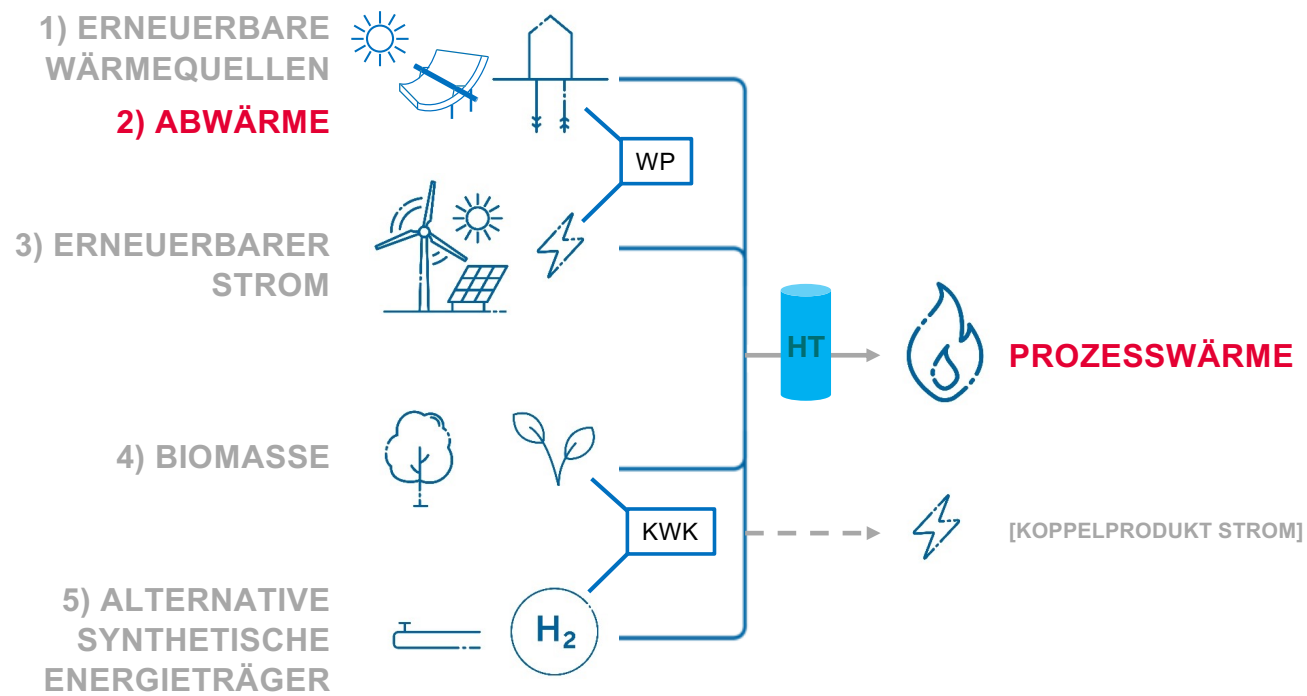
-> s. Power-to-Heat (Wärmepumpe)

1) Erneuerbare Wärme: SWOT Tiefen-Geothermie

INTERN	<ul style="list-style-type: none"> › CO₂-freie, grundlastfähige erneuerbare Wärmequelle › Geringe Energiekosten (nur Pumpstrom) › Sehr geringer Flächenverbrauch › Prinzipiell KWK-fähig (Strom- und Wärmeerzeugung) 	<ul style="list-style-type: none"> › Potenzial und Verfügbarkeit in hohem Maße standortabhängig › Hohe Investitionen (Bohrung)
	Stärken	Schwächen
EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> › Hohe Akzeptanz aufgrund geringer visueller Wahrnehmung (in weiten Teilen unterirdische Anlage) › Zunehmendes Interesse von Stadtwerken, Industrie (z.B. Papier) sowie Politik und Wissenschaft an der Technologie (z.B. Interreg-Projekt DGE-Rollout) › Potenzial zur (saisonalen) Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen › Theoretisches Potenzial zur synergetischen Rohstoffgewinnung von Lithium 	<ul style="list-style-type: none"> › An konkreten Standorten i.d.R. unbekannte Potenziale und Fündigkeitsrisiken bezüglich Temperaturen, Volumenströmen und Barrieren › Geologische und behördliche Ausschlusskriterien (z.B. Wasserschutzgebiete) › Teilweise Akzeptanzprobleme wg. Mikro-Erdbeben
	Chancen	Risiken

1) Erneuerbare Wärme: SWOT Solarthermie

INTERN	<ul style="list-style-type: none"> › Emissionsfreie, verschleißarme und geräuschlose erneuerbare Wärmequelle ohne Brennstoffkosten › Freifläche: Im Vergleich zu andern EE (PV, aber insbesondere Bioenergie) sehr hohe Flächeneffizienz › Gebäudeintegriert: kein zusätzlicher Flächenverbrauch › Modular skalierbare Technologie › Relativ günstige Speichermöglichkeit von Wärme (im Vergleich zu Strom) 	<ul style="list-style-type: none"> › Begrenzungen im max. Temperaturniveau: <ul style="list-style-type: none"> • Flachkollektor: ≈ 80°C • Vakuumkollektor: ≈ 120°C • Konzentrierender Kollektor: ≈ 400°C › Ausreichende Flächenverfügbarkeit insbesondere in verdichteten Räumen nicht immer gegeben › Dargebotsabhängig Wärmequelle (saisonale, tages- und wetterbedingte Schwankungen) -> Investitionen in Wärmespeicher, Booster und/oder Backup-Systeme erforderlich
	Stärken	Schwächen
EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> › Sehr große (theoretische) Potenziale › Freiflächenkollektoren mit Potenzial für sehr günstige Wärmeerzeugung (ca. 5 ct/kWh_{th}) › Risikoabsicherung für Energiepreissteigerungen (> 20 a) › Potenzial für hybride Flächennutzung (PVT, Agri-Solarthermie) › Gute Kombinierbarkeit mit KWK (iKWK), da im Sommer KWK-Stromerzeugung wg. hoher PV-Stromeinspeisung & niedrigerer Strom- und Wärmelast tendenziell unrentabel ist › Als Fuel-Saver gute Kombinierbarkeit mit Biomasse/Biogas oder Wasserstoff 	<ul style="list-style-type: none"> › Freifläche: Trotz technischer Reife in Deutschland noch weitgehend unbekannte, nicht-etablierte Technologie (anders als in Dänemark) › Schattendasein ggü. prominenter und konkurrierender PV-Nutzung
	Chancen	Risiken

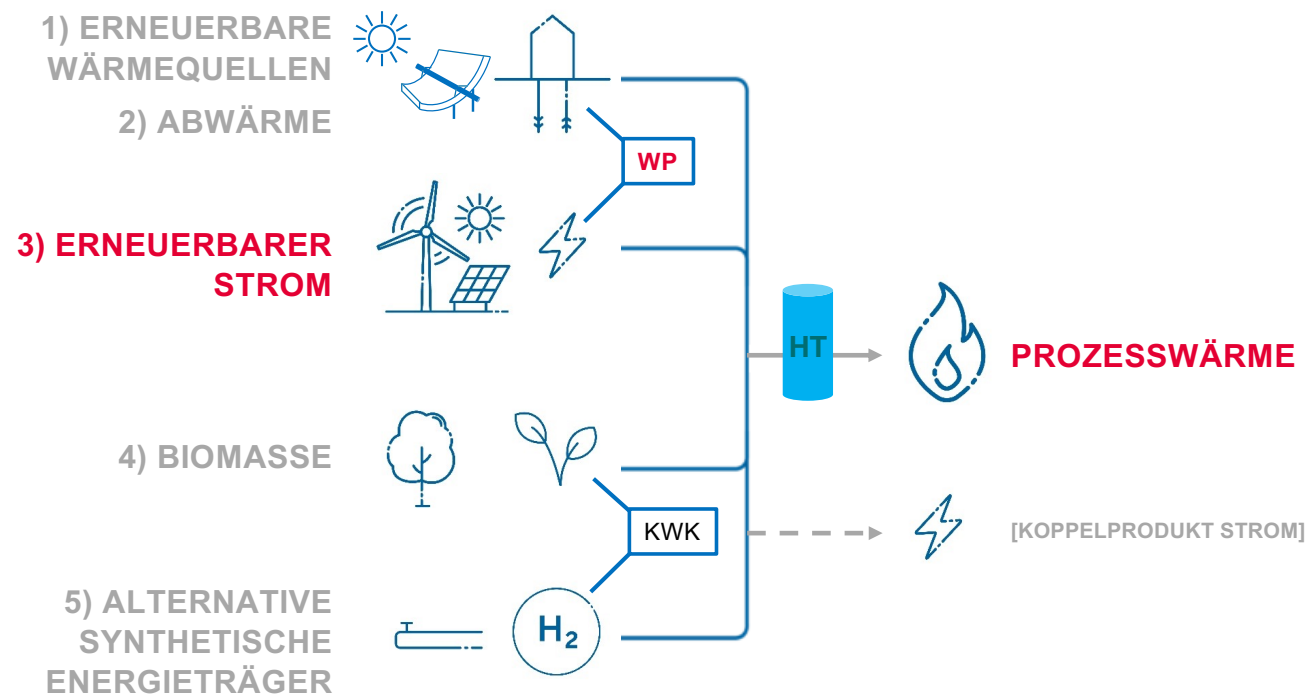


Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

2) Abwärme:

SWOT (interne & externe Nutzung)

INTERN	<ul style="list-style-type: none">› (Bilanziell) CO₂-freie und kostenlose/günstige Wärmequelle, sofern sie als ein unvermeidbares Nebenprodukt eines ohnehin notwendigen Prozesses entsteht und genutzt werden kann› Sehr große theoretische Potenziale aus kommunalen (Abwasser, Klärwerke...), gewerblichen (Rechenzentren...) und industriellen (Prozesswärme) Quellen› Nur relativ geringer (zusätzlicher) Flächenbedarf für Wärmetauscher, Filter, Pumpen und Leitungen	Stärken	
		<ul style="list-style-type: none">› Quellen-Senken-Beziehung:<ul style="list-style-type: none">• Ggf. kostenintensive Transportleitung erforderlich• Ggf. Mismatch von Temperaturen oder Lastprofilen (z.B. durch Schicht- oder diskontinuierlichen Betrieb) -> Investitionen in Wärmespeicher, Booster und/oder Backup-Systeme erforderlich› Ggf. abrasive oder korrosive Abwärmeströme -> teure Wärmetauscher bzw. Filter› Strahlungswärme technisch schwierig nutzbar	Schwächen
EXTERN		Chancen	
	<ul style="list-style-type: none">› Nutzung kann aktive und kostenintensive Kühlung und ökologische Gewässerbelastung durch Wärmeeintrag verringern› Innovationen zur Nutzung von Strahlungswärme wie z.B. Thermo-elektrische Generatoren (TEG)› Mit Wärmepumpen auch Niedertemperaturabwärme nutzbar› Chance zur Imageverbesserung eines Abwärme liefernden Unternehmens› Hohe politische und gesellschaftliche Akzeptanz	Risiken	
		<ul style="list-style-type: none">› Potenziale vor Ort häufig im Detail unbekannt› Potenzielles Ausfallrisiko (in Menge, Leistung oder Temperatur) durch Produktionsausfall, Produktionsverlagerung oder Produkt- bzw. Prozesswechsel› Fehlendes Interesse oder Anreize, Abwärme zu liefern (bislang keine Abwärmennutzungspflicht)	



Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

3) Erneuerbarer Strom:

SWOT Power-to-Heat (PtH):

a) direktelektrisch (Kessel & Prozesstechnik) b) Wärmepumpe (WP)

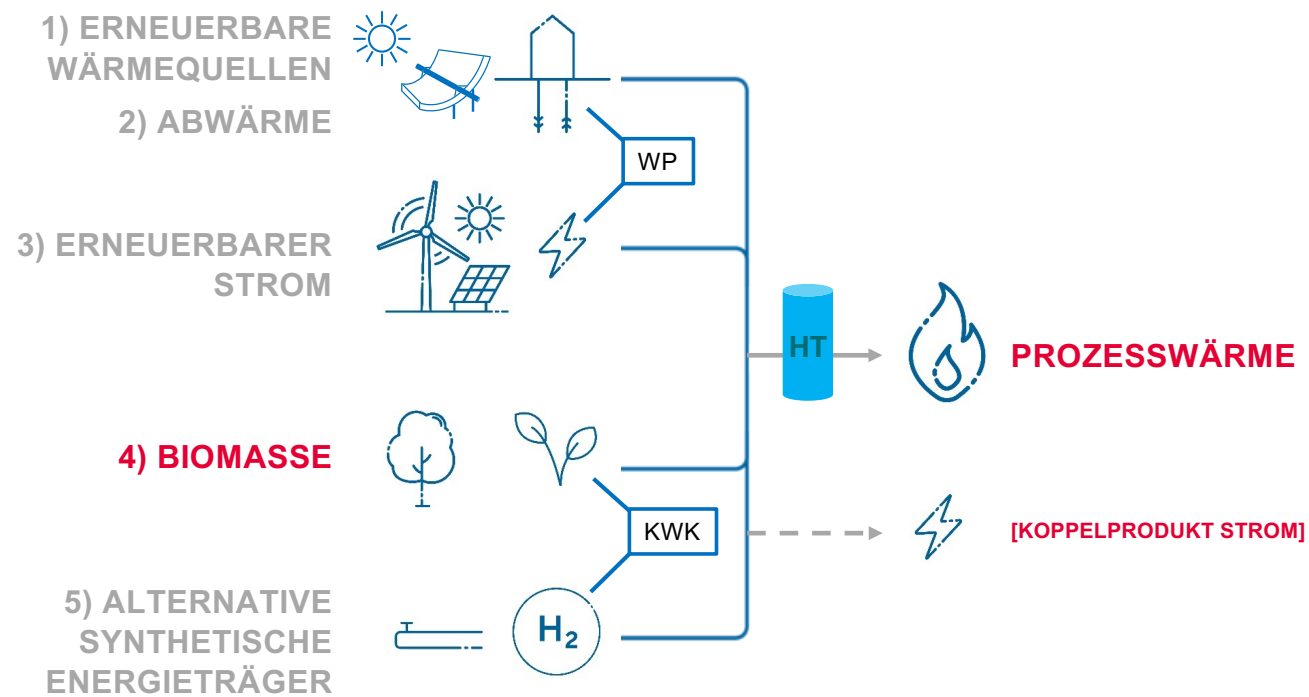
INTERN	<ul style="list-style-type: none">› Erprobte, lokal emissionsfreie und leise Technologie› Wartungsarm› Skaleneffekte bei großen WP-Aggregaten› Mit WP hocheffiziente Nutzung erneuerbarer Wärme (Umgebungswärme, Geothermie, Abwärme, Solarwärme) mittels erneuerbaren Stroms› Instrument zur Lastverschiebung› Direktelektrische PtH (Kessel) erfüllt Voraussetzungen zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt› Erdwärmesonden mit Potenzial zur energieeffizienten und preisgünstigen sommerlichen Kühlung	Stärken
--------	--	----------------

EXTERN	<ul style="list-style-type: none">› Potenzial zur vollständigen Dekarbonisierung (bei 100% EE)› Potenziale bei WP für Kostensenkung, Effizienzerhöhung und Nutzung in kalten Nahwärmenetzen (LowEx)› Nutzung von fEE-Angebotsspitzen im Stromnetz bei Integration von Wärmespeichern (stabilisiert Stromnetz)› Synergien mit KWK-Anlagen (iKWK): Hohe Freiheitsgrade für netzdienliche und/oder kostenoptimierte flexibilisierte Fahrweise› Synergien zur Solarnutzung bei WP mit Wärmespeicher: Erhöhung Speicherkapazität und Solarertrag	Chancen
--------	--	----------------

<ul style="list-style-type: none">› Bei WP Erschließung von Wärmequellen mit ausreichender Leistung und Temperaturniveau erforderlich (-> Potenziale, Platzbedarf und Kosten)› Temperaturgrenzen (ca. 150°C) und abnehmende Energieeffizienz bei höheren Vorlauftemperaturen (WP)› Fertigung von Großwärmepumpen (noch) kein Massenmarkt; Entwicklungsbedarf bei HT-WP ¹⁾› Teils Verwendung problematischer Kältemittel in Groß-WP: klimaschädlich → GWP, ozonschädlich → ODP, brennbar (Butan, Propan) oder giftig (z.B. Ammoniak)	Schwächen
---	------------------

<ul style="list-style-type: none">› Abhängigkeit von übergeordnetem Stromnetz(ausbau)› Grad der Dekarbonisierung abhängig vom EE-Ausbau (Wind und PV)› Wärmepreis abhängig vom Strompreis sowie Entwicklung von Umlagen, Abgaben und Steuern› Monovalenter Einsatz erhöht elektrische Last (Thermosensibilität), insbesondere im Winter und in Dunkelflauten problematisch	Risiken
---	----------------

¹⁾ bis 160°C: TRL 7-8 / bis 240°C: TRL 5-6

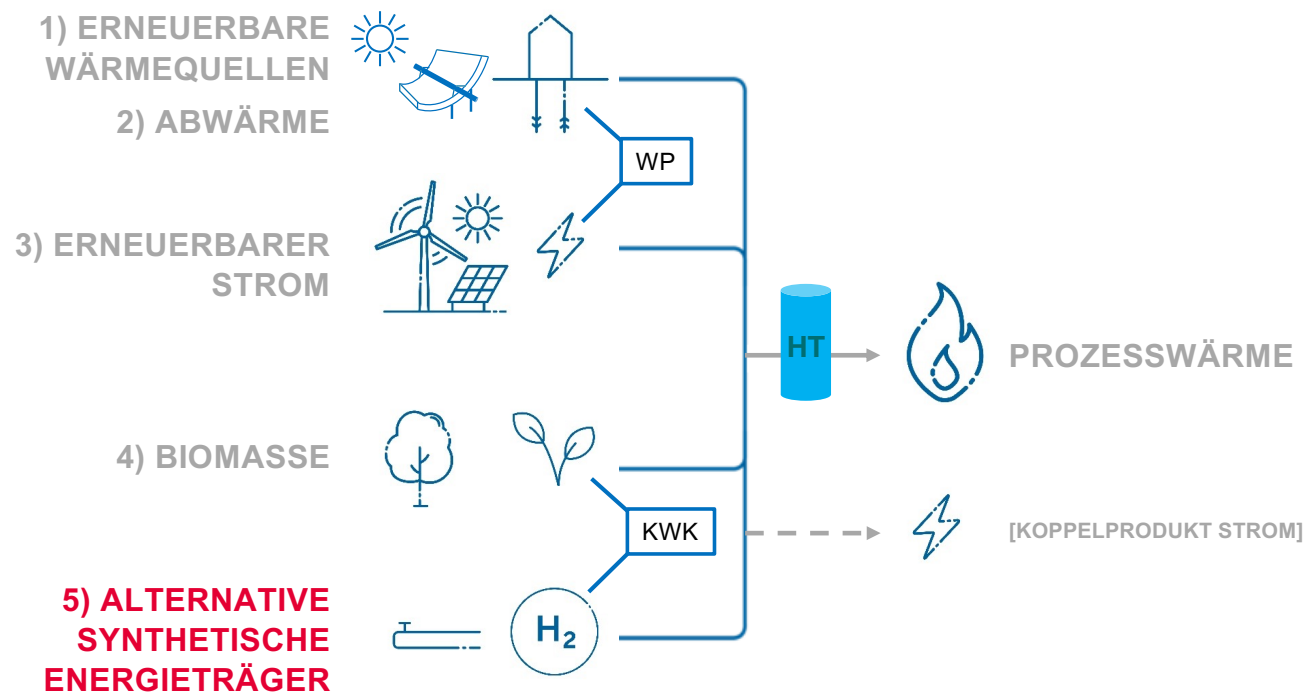


Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

4) Bioenergie:

SWOT Bioenergie (Biomasse/Biogas/Abfälle)

INTERN	<ul style="list-style-type: none">› Nachwachsender, speicherbarer Energieträger (NaWaRo)› Annähernd CO₂-neutral über gesamten Lebenszyklus› Grundlastfähige Wärme- und Stromerzeugung› Hocheffiziente Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung möglich in verschiedenen KWK-Technologien (Biomasse: Dampfturbine, ORC / Biogas: Gasturbine, BHKW) und weitem Leistungsbereich (ca. 50 kW_{th}-BHKW bis 500 MW_{th}-Heizkraftwerk)› Hohe Temperaturen erreichbar (bis ca. 500°C)	Stärken	
		<ul style="list-style-type: none">› Indirekte THG-Emissionen (z.B. durch Dünger bei NaWaRo-Anbau), lokale CO₂- und Schadstoffemissionen› Begrenzte Potenziale von Abfällen und nachhaltiger Biomasse/Biogase sowie hoher Flächenbedarf (Anbau)› Lagerplatz (Biomasse) und Transportinfrastruktur (Biomasse/Abfälle: LKW, Biogas: Pipeline) erforderlich› Bei Biogas Wärmeabnehmer in räumlicher Nähe erforderlich› Bei Abfallverbrennung niedrige Wirkungsgrade und hoher Reinigungsaufwand für Abgase	Schwächen
EXTERN		Chancen	
	<ul style="list-style-type: none">› Potenzial zur Flexibilisierung (in Kombination mit stofflichen bzw. thermischen Speichern oder Solarthermie)› Technologie zur Residuallastdeckung von Wärme & Strom› Teilnahme am Regelenergiemarkt möglich (Biogas-BHKW)› Mit CCS Option für negative CO₂-Emissionen (BECCS)› Ressourcenschonende Kaskadennutzung (Verbrennung von Reststoffen und Vergasung von Gülle etc.)› Synergie von stofflicher Inertisierung und thermischer Verwertung (bei Abfällen und Gülle)› Potenzial zur Methanisierung (Einspeisung in Erdgasnetz)	Risiken	
		<ul style="list-style-type: none">› Nachfrageseitig Konkurrenz zu stofflicher (z.B. Baustoffe, chem. Grundstoffe), energetischer (Kraftstoffe) oder thermischer (z.B. als ABS in der Zementindustrie) Nutzung› Angebotsseitige Konkurrenz bei NaWaRo zur Nahrungsmittelproduktion, gleichzeitig Akzeptanzproblem (Teller-oder-Tank-Debatte)› Preisrisiken für begrenzt verfügbare Brennstoffe› Zusatzkosten und Infrastrukturrisiken (erforderliche Anbindung an CO₂-Pipeline) durch CCS-Technologie	



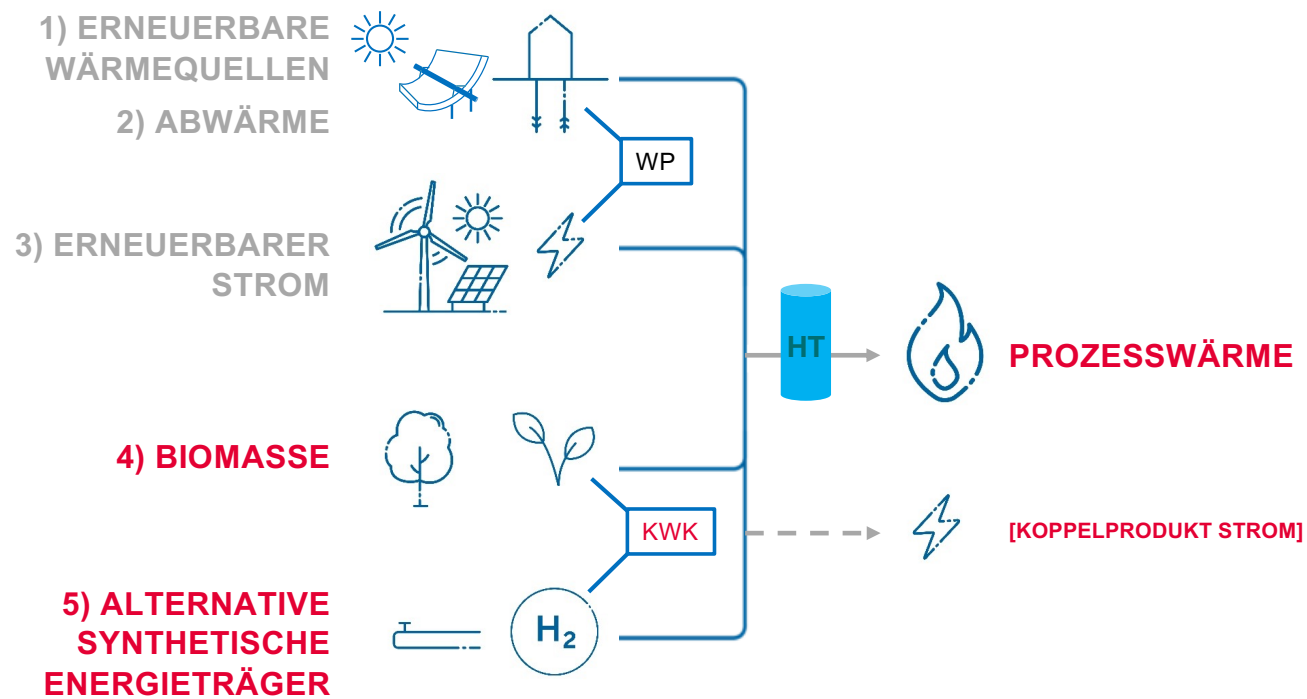
Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

5) Alternative Energieträger: SWOT Brenngase (fossil & erneuerbar)

INTERN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sehr hohe Verbreitung, da technisch universell (Kessel, Turbinen, Motoren, Brennstoffzellen...) und in vielen Bereichen (Wärme- und Kälteerzeugung, Stromerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung, Reduktionsmittel, Rohstoff...) einsetzbar ➤ Leitungsgebundene und nicht-leitungsgebundene Transportoptionen: <ul style="list-style-type: none"> • In Pipelines einfach, energieeffizient, günstig (OPEX) und - z.B. im Vergleich zu Stromtrassen - mit sehr hoher Kapazität • In Drucktanks oder Flüssigtanks (tiefgekühlt) global flexibel verschiffbar und handelbar ➤ Gut und in großen Mengen speicherbar (Tanks, Kavernen- und Salzspeicher) ➤ In der Regel gute, effiziente und saubere Verbrennungseigenschaften (insbesondere im Vergleich zu festen Brennstoffen) 	Stärken
		Chancen
EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sehr großes theoretisches Potenzial zur weltweiten Erzeugung (insbesondere in sonnen- und windreichen Sweet Spots), Speicherung und Anwendung erneuerbarer, synthetischer Gase (PtG) ➤ Potenzial zur Nutzung vorhandener Infrastrukturen (Netze, Speicher, Verbraucher) bei Umstellung von fossilen auf erneuerbare Gase (mit Einschränkungen) ➤ Hohes Einsatzpotenzial für effiziente und/oder flexible technische Anwendungen (z.B. Gasturbinen, GuD-Kraftwerke, Motor-BHKW, Brennstoffzellen) ➤ Energieträger von zentraler Bedeutung zur (dargebotsunabhängigen) Bereitstellung residualer Strom- und Wärmelasten 	

5) Alternative Energieträger: SWOT Brenngase (fossil & erneuerbar)

INTERN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Leitungsgebundene und nicht-leitungsgebundene Transportoptionen: <ul style="list-style-type: none"> • Pipelines: Geringe (räumliche und kapazitive) Flexibilität und hoher investiver Aufwand bei leitungsgebundenen Transportsystemen • Nicht-leitungsgebunden: Teilweise hohe Verluste für Transport und Umwandlung bzw. Konditionierung (z.B. Verflüssigung durch Kühlung oder Kompression, Wiederverdampfung) ➤ Bei Umstellung von Gasen technische Restriktionen hinsichtlich Infrastrukturen für Transport (z.B. H₂-Diffusion), Verdichtung und/oder Anwendung (z.B. Änderung von Verbrennungseigenschaften in Brennern oder Turbinen) 	Schwächen
EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Klimaschädlichkeit (CO₂-Emissionen, Methanschlupf) und Endlichkeit fossiler Gase ➤ Explosionsgefahr ➤ Leitungsgebundene Gasversorgung: <ul style="list-style-type: none"> • Risiko langer Planungs- und Genehmigungszeiten und eines Stranded Investments • Politische und ökonomische Abhängigkeit von einzelnen Anbietern • Risiko als kritische Infrastruktur (s. Sabotage North-Stream-Pipeline) ➤ Hohes Risiko mangelnder Verfügbarkeit und hoher Preise für erneuerbare Gase ➤ Lock-in-Klimaschutz-Risiko für fossile Rückfalloption im Falle von nicht (ausreichend) vorhandenen oder zu teuren erneuerbaren Gase 	Risiken



Grafik: IN4climate.NRW, eigene Ergänzungen

4 & 5) KWK-Technologien

a) mit Biomasse / b) mit alternativen Energieträgern

Motor-BHKW, Gas- und Dampfturbine (GuD), Gasturbine (GT), Dampfturbine (DT), Brennstoffzelle (BZ) mit (übergangsweise) fossilen oder erneuerbaren Brennstoffen

INTERN	<ul style="list-style-type: none">• Effizienztechnologie (Abwärmenutzung) für thermische Kraftwerke in sehr breitem Leistungs- und Anwendungsbereich• Technologieviefalt (Motor-BHKW, GT, DT, GuD, BZ, ORC) und gute Kombinierbarkeit mit anderen Wärmeversorgungsoptionen (insbesondere PtH, Bio- und Solarenergie)• Beitrag zu gesicherten Erzeugungskapazitäten (hohe Flexibilität, Bereitstellung positiver und negativer Residuallast bzw. Regelleistung)• Technisches Potenzial zur Umstellung von fossile auf erneuerbare Gase (Biogas, Biomethan, EE-Wasserstoff und EE-Methan) und Festbrennstoffe (feste Biomasse)• Zunehmende Marktreife von Brennstoffzellen als Technologie mit hoher Stromkennzahl und direkter (= effizienter) Verwertung von H₂	Stärken
	<ul style="list-style-type: none">• Zunehmender Bedarf an regelbaren Kraftwerken und Flexibilitäten sowie Sektorenkopplung• Residuale Wärmebedarfe für Raum- und Prozesswärme, die nicht durch Alternativen gedeckt werden können (insbesondere im Winter)• Erhöhte Potenziale und Wirtschaftlichkeit für KWKK durch zunehmenden Klimatisierungsbedarf (Klimawandel)• Umstellung der Gasversorgung (Erzeugung und Gasinfrastruktur) auf Biomethan, EE-Wasserstoff und EE-Methan• Importe von EE-Gasen aus Ländern mit kostengünstigeren EE-Stromerzeugungspotenzialen• Synergetische Nutzung von H₂-Feedstockleitungen in der Industrie• Nutzung bestehender Kraftwerksstandorte für erneuerbare Wärmespeicherkraftwerke (PtH + KWK)	Chancen

4 & 5) KWK-Technologien

a) mit Biomasse / b) mit alternativen Energieträgern

Motor-BHKW, Gas- und Dampfturbine (GuD), Gasturbine (GT), Dampfturbine (DT), Brennstoffzelle (BZ) mit (übergangsweise) fossilen oder erneuerbaren Brennstoffen

INTERN	<ul style="list-style-type: none"> • In der Vergangenheit und gegenwärtig überwiegend auf (billige) fossile Brennstoffe angewiesen • Verbrennungstechnologien (insbesondere Motor-BHKW) mit Nachteilen bezüglich Lärm, Vibrationen, Schadstoffausstoß, Wartungsaufwand, Lebensdauer und Methanschlupf (THG) 	Schwächen
EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> • Perspektivisch kein Einsatz mehr von fossilen Energieträgern (Erdgas, Erdöl, Kohle) • Wirtschaftliche Konkurrenz erschwert durch: <ul style="list-style-type: none"> ○ Teurere, CO₂-arme Energieträger (H₂, SNG) ○ Hohe Kostensenkungspotenziale bei erneuerbarem Strom (Elektrifizierung von Raum- & Prozesswärme mit Wärmepumpen und direktelektrische Anwendungen) und erneuerbarer Wärme ○ Sinkende Refinanzierungsspielräume auf der Stromseite (durch zunehmend billigen EE-Strom in der Grundlast) • Rückbau von Gasverteilsnetzleitungen aufgrund von Bedarfsrückgängen im Gebäudebereich • Unsicherheit über neue Gasversorgung (Potenziale und Kosten von EE-Wasserstoff bzw. EE-Methan) • Erhöhte Nutzungskonkurrenz durch erheblich steigenden H₂-Bedarf in der Industrie (z.B. durch DRI in der Stahlbranche) und im Verkehr (Schwerlast, Flugverkehr, Schiffe) • Unsichere und komplexe energiepolitische Rahmenbedingungen (KWKG & Ausschreibungen, EEG-Umlage, Stromsteuer, CO₂-Preis, ETS...) 	Risiken

Dietmar Schüwer | dietmar.schuewer@wupperinst.org

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Weitere Informationen:

www.wupperinst.org