

MODUL 2.2

Entwurf/Auslegung und Optimierung von Wärme- und Kälteversorgung

SCHRITT 7.5: Vor-Entwurf des alternativen Versorgungssystems

➔ Nach Prozessoptimierung und Wärmerückgewinnung

Ziel:

Minimierung des Primärenergieverbrauchs und der Umweltauswirkungen

Maßnahmen: Veränderungen bzgl.

- ✓ Wärmeversorgungsanlagen
- ✓ Brennstoffen
- ✓ Verteilungssystem

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Ausgangspunkt:

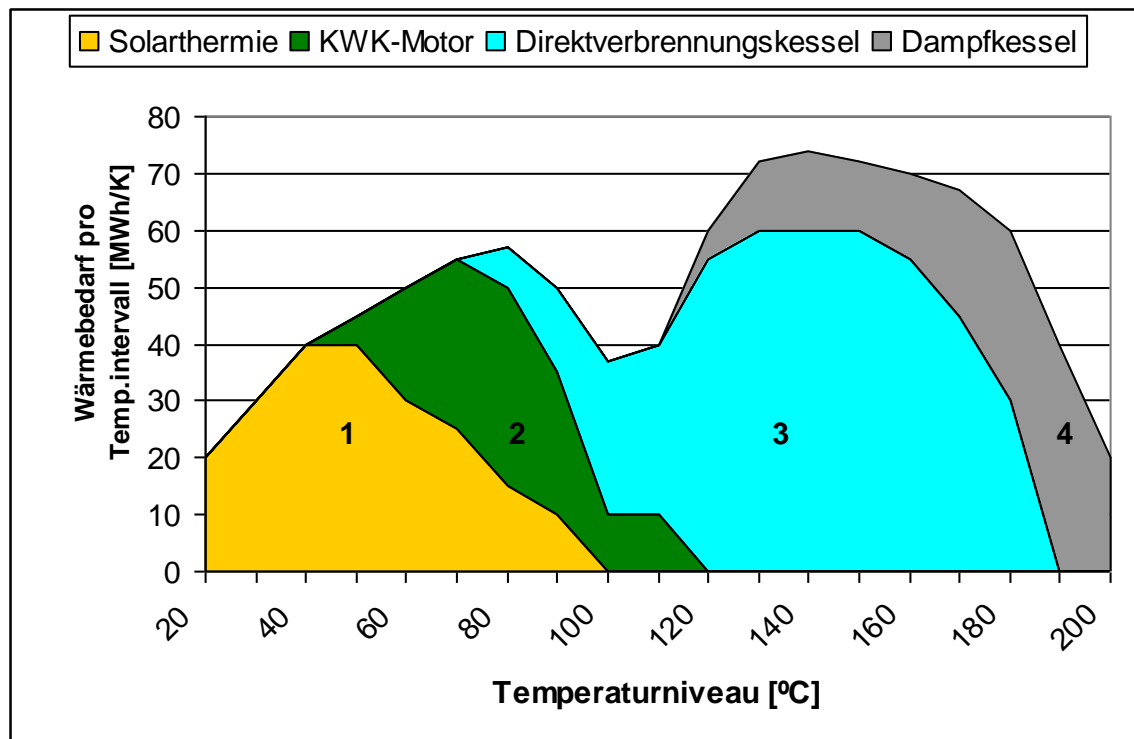
Analyse des Gesamtenergiebedarfs (statistische Aufgliederung) unter Berücksichtigung von:

- Temperaturniveau des verbleibenden Wärmebedarfs
- Menge des Wärmebedarfs und verfügbare Abwärme
- Zeitliche Verteilung des Wärmebedarfs und der Abwärme
- Verfügbarer Raum
- Verfügbarkeit von alternativen Energieträgern und deren Kosten (Biomasse, ...)

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

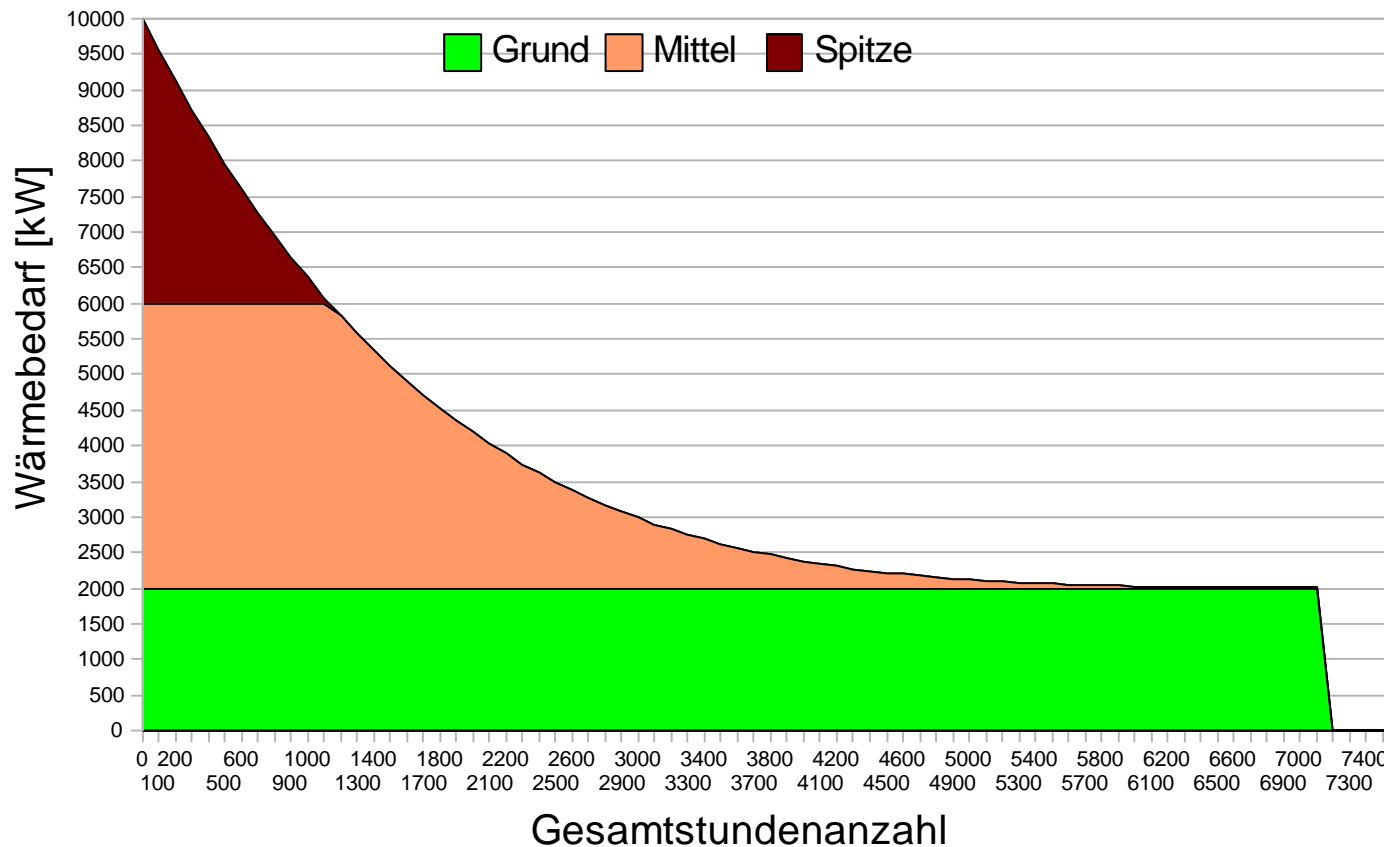
Wärmeversorgungskaskade: Wahl passender Anlagen

- Die effizientesten Anlagen decken die Grundlast und die relativ niedrigen Temperaturen (Großteil der Betriebszeit) ab
- Spitzenlast und hohe Temperaturen werden von geeigneten, weniger effizienten Anlagen gedeckt



SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

- ✓ Dimensionierung der Anlage für Grundlast, Mittellast und Spitzenlast

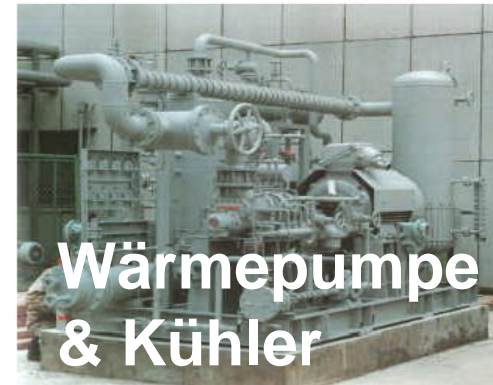


SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Planungsschritte:

- ✓ Wahl der Anlagenart und Anordnung der Kaskade
 - ✓ Manuell von AuditorIn oder auf Vorschlag des EINSTEIN Tools
- ✓ Dimensionierung jedes einzelnen Teils der Anlage in der Kaskade
 - ✓ Hilfsstellung von „Planungsassistenten“ des EINSTEIN Tools
- ✓ Wahl – optimale Zusammensetzung Gesamtsystem
 - ✓ In „Trial und Error“-Verfahren
- ✓ Abfolge Wärmerückgewinnung – Wärme- und Kälteversorgung iterativ optimieren
 - ✓ da Änderungen im Versorgungssystem zu Änderungen bezüglich der verfügbaren Abwärme führen können

SCHRITT 7.5: EINSTEIN – Die Technologien



SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Wärme- und Kältespeicherung

- ✓ Wärme- und Kältespeicherung können Spitzenlast verringern:
 - Erhöht den Anteil der Grundlast
 - Ein größerer Anteil am Bedarf kann von energieeffizienten Anlagen gedeckt werden. Mehr Betriebsstunden sind möglich.
- ✓ Ermöglicht Deckung des Wärmebedarfs mit verfügbarer Abwärme oder Solarthermie
 - Wenn es keine Überschneidung der Laufzeiten gibt.

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Wichtigste Wärme- und Kältespeichersysteme:

- ✓ Sensible WK-Speicher in Form von heißem/kaltem Wasser (bis zu 150°C möglich in Drucktanks)
- ✓ Latent-WK-Speicher in Sattdampf-Speichertanks
- ✓ Thermoöl
- ✓ Feste Speichermedien (Keramik, Stein,...)
- ✓ Eisspeicher und Latentkältespeicher in anderen Speicherstoffen

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Energieeffiziente Wärme- und Kälteverteilung

➔ *Oft kann durch effiziente Wärme- und Kälteverteilung der Energiebedarf verringert werden:*

✓ Senkung des Temperaturniveaus

- Könnte helfen, Verluste der Leitungen und Speicher zu verringern
- Könnte für den Einsatz energieeffizienter Technologien (KWK, Wärmepumpen, Solarthermie) nötig sein

✓ Direktverbrennung/Kühlung

- Kann Energieeffizienz erhöhen – durch Beseitigung der Verteilungsverluste und durch Einsatz der latenten Wärme des Wasserdampfs aus den Abgasen (z.B. beim Erhitzen von Bädern)
- Normalerweise mit relativ reinen Brennstoffen wie Erdgas oder Biogas möglich

Kraft-Wärme-Kopplung

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

- ✓ KWK garantiert hocheffiziente Strom- und Wärmeerzeugung aus Brennstoffen
 - 10-25% Umwandlungsverluste vs. min. 45% bei reinem Stromerzeugungssystem.
 - ✓ KWK kann auch Kältebedarf decken (Trigeneration: Strom + Wärme + Kälte)
 - Mit Absorptionskältemaschinen
 - ➔ *Um Energieeinsparungen zu maximieren:*
 - ✓ *KWK sollte Wärme für das Industriegelände vor Ort erzeugen.*
- Stromüberschüsse können in das öffentliche Netz eingespeist werden.*

Kraft-Wärme-Kopplung

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Berechnung Primärenergieeinsparungen mit KWK:

- ✓ „Symmetrischer “ Ansatz
 - Richtlinie Kraft-Wärme-Kopplung 2004/8/EG: vergleicht KWK-Systeme mit der getrennten Erzeugung von Wärme und Strom (anhand von Referenzwerten für Effizienz).
- ✓ Ansatz „äquivalente Stromeffizienz“
 - Zieht die Energiemenge, die für die Wärmeerzeugung gebraucht würde, ab und errechnet eine theoretische Stromeffizienz.
- ✓ EINSTEINs thermischer Ansatz
 - spezifischer Nettoverbrauch an Primärenergie pro mit KWK erzeugter Wärmeeinheit:

$$\frac{\Delta E_{PE}}{\Delta Q} = \frac{f_{PE}}{\eta_{th}^{KWK}} \left(1 - \frac{\eta_{el}^{KWK}}{\eta_{el}^{Netz}} \right)$$

Verfügbare KWK-Technologien

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

KWK-Technologie	Temperaturniveau	Effizienz (elektr./thermisch)
Gas- oder Heizölmotor	< 95°C (Kühlwasser) < 400 °C (Abgas)	(40% / 45%)
Gasturbine	< 400 °C	(30% / 60%)
Dampfturbine	< 250 °C (praktischer Grenzwert; abhängig von Gegendruck)	(20-30% / 65%)
Kombinierter Kreislauf (Gasturbine + Wärmerückgewinnung Dampfgenerator + Dampfturbine)	< 250 °C (praktischer Grenzwert; abhängig von Gegendruck in Dampfturbine)	(50-55% / 35-40%)
ORC –Turbine (organischer Rankine-Kreislauf)	< 250 °C	(27-50% / 30-55%)
Stirling-Motor	< 90 °C	(10-25% / 60-80%)
Brennstoffzelle	< 80 °C (PEM-Technologie) < 400 °C (SOFC-Technologie)	(45-60% / 30-50%)

WÄRMEPUMPEN

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Typen von Wärmepumpen:

- ✓ Mechanische Dampfkomppressions-Wärmepumpen
 - Normalerweise elektrisch betrieben
- ✓ Absorptions-Wärmepumpen
 - Mit thermischer Energie betrieben
- ✓ Dampfstrahlpumpen
 - Mit Dampf betrieben

WÄRMEPUMPEN

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Typische industrielle Anwendungsbereiche:

- ✓ Beheizen und Kühlen von Prozesswasser
- ✓ Trocknungsverfahren
- ✓ Raumwärme
- ✓ Verdampfungs- und Destillationsprozesse
- ✓ Abwärmerückgewinnung

WÄRMEPUMPEN

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Wichtige Überlegungen beim Einsatz von Wärmepumpen:

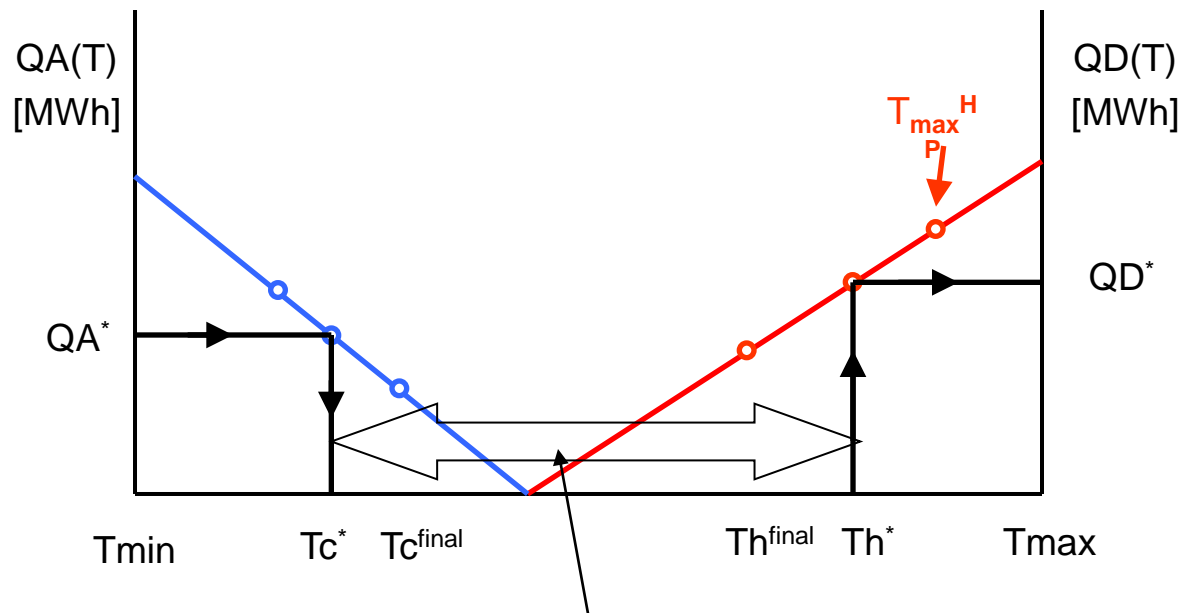
- ✓ Temperatur der erzeugten Wärme (normalerweise 55-120 °C; 80-150°C mit Wasser als Kühlmittel)
- ✓ Temperaturhub (normalerweise 20-40 K)
- ✓ Betriebszeiten
- ✓ Pinch-Temperatur
- ✓ Verlauf der Wärmeversorgungs- und Wärmebedarfskurven

WÄRMEPUMPEN

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Berechnung Energiefluss: Basis

Wärmebedarf und -verfügbarkeit in Zeitraum



Max. Temperaturhub

Energieeffiziente Kälteerzeugung

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Kältemaschine-Typen:

- ✓ Kühltürme (freie Kühlung)
 - offene, geschlossene; nasse/trockene/hybride Kühlung
 - elektrische Leistung typischerweise zw. 10 und 23 kW_{el}/MW_{th}
- ✓ Kompressionskältemaschinen
 - COP ca. 4,0 oder höher in großen Anlagen
- ✓ Sorptionskältemaschinen
 - Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen
 - Integration von CCHP (Trigeneration) oder Solare-Kühlungskonzepte
 - COP (Absorptionskältemaschinen): 0,5-0,8 bei einstufigen Geräten und 1,0-1,3 bei zweistufigen Absorptionskältemaschinen
 - Wichtig: Primärenergieverbrauch für Vergleich von thermischen und elektrischen Kältemaschinen heranziehen

Energieeffiziente Kälteerzeugung

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Überlegungen beim Einsatz von Kältemaschinen:

- ✓ Reduzierung des Kühlbedarfs durch Wärmerückgewinnung
- ✓ Verwendung der Abwärme aus den Kältemaschinen (bis zu 50 °C möglich)
- ✓ Möglicher Einsatz von Free Cooling
- ✓ Anwendung von Kältemaschinen-Kaskaden, wo geeignet
- ✓ *Wassertemperatur nach Kälteanlage so hoch wie möglich*
- ✓ *Niedrige Temperatur des rückgekühlten Wassers*
- ✓ High temperature of chilled water supply
- ✓ Low temperature of re-cooling water supply
- ✓ Teillastzeiten reduzieren

Solarthermie-Systeme

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

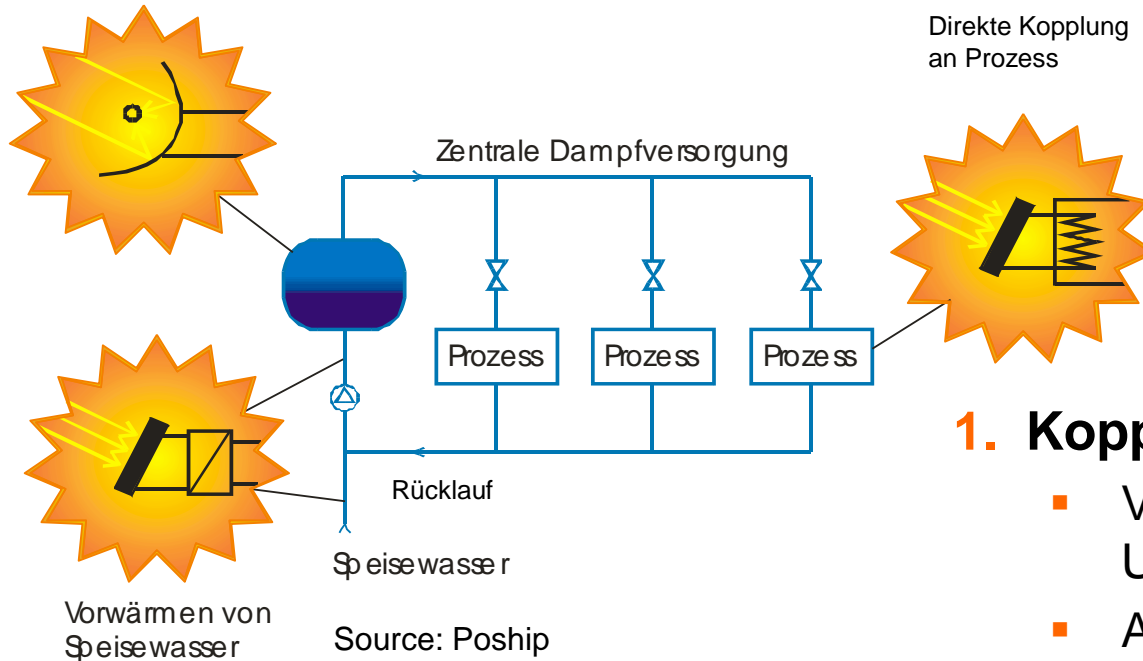


Solarthermie-Systeme

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Integration der Solarthermie in die Prozesse

Dampferzeugung



1. Kopplung an den Prozess

- Vorwärmen eines Umlaufmediums
- Aufheizen von Bädern

2. Kopplung an d. Heizkessel

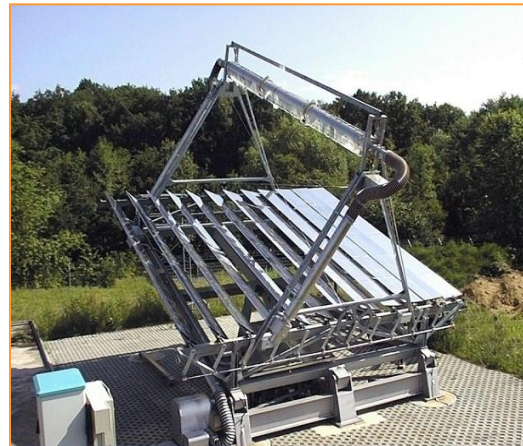
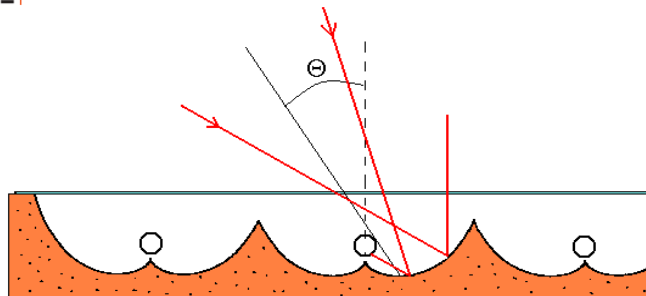
- Vorwärmen des Speisewassers von Dampfkesseln
- Über Solardampfgenerator

Solarthermie-Systeme

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Solarkollektoren für Prozesswärme

- ✓ Flachkollektoren
- ✓ Vakuumröhren
- ✓ Konzentrierende Kollekt.:
 - CPC
 - Parabolrinnen
 - Fresnel
 - andere

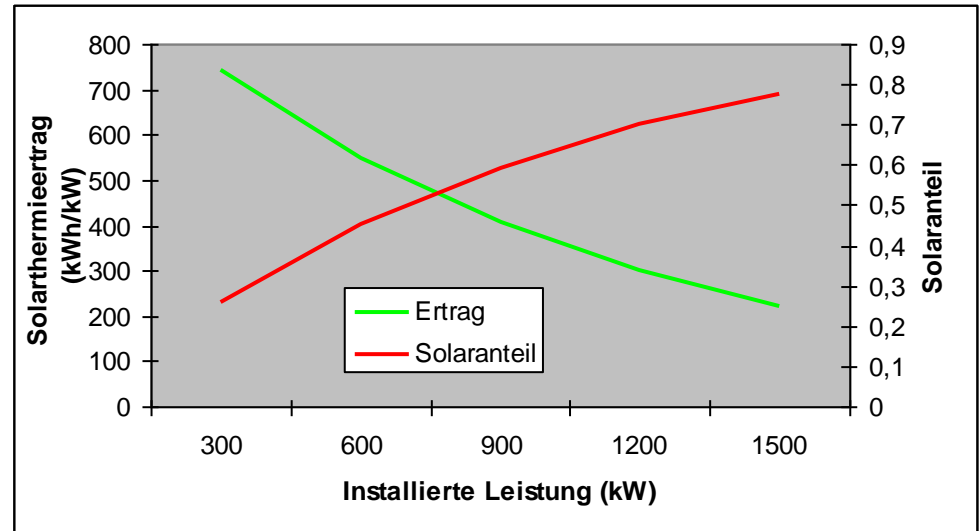


Solarthermie-Systeme

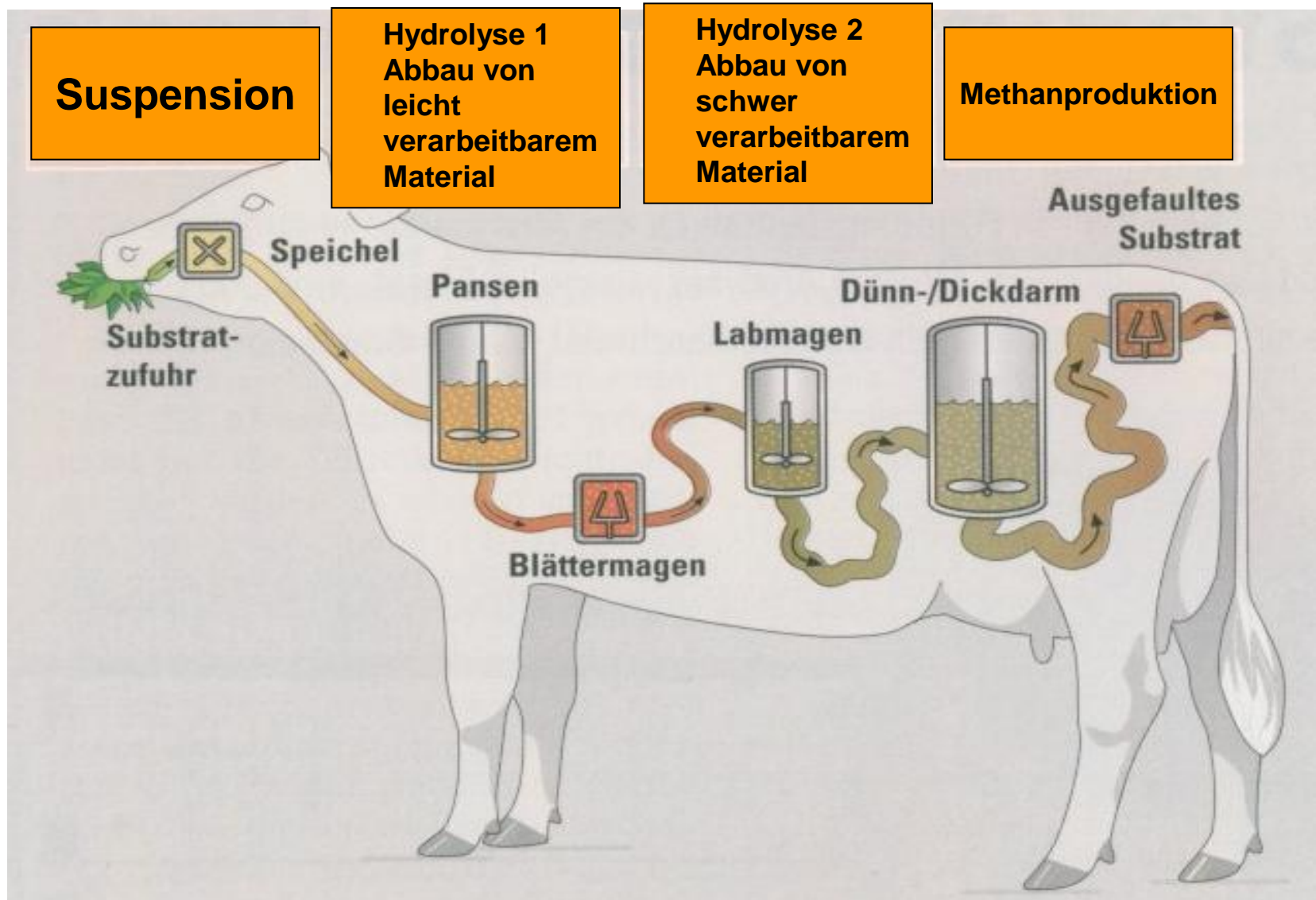
SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Planungskriterien

- ✓ Prozesstemperatur
- ✓ Klima
- ✓ Lastprofil
- ✓ Solaranteil und Energieertrag
- ✓ Systemgröße
- ✓ Prozessintegration
- ✓ Verfügbare Fläche und Dachstruktur



SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems



Biogas: Untersch. Ausgangsmaterial und Vorbehandlungen

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Agriculture industry	Slaughter houses	Industry (e.g. food)	Canteen kitchen	commune
<ul style="list-style-type: none"> •Residues of harvesting •Energy plants •Liquid manure •Solid and liquid dong 	<ul style="list-style-type: none"> •Slaughter house waste water (grease,...) •Slaughter house solid waste (bowels) 	<ul style="list-style-type: none"> •mash •Brewer grains •yeast •Fruit pulp 	<ul style="list-style-type: none"> •Food residues •Kitchen waste •Waste grease 	<ul style="list-style-type: none"> •grass •Biogenic waste •Sewage sludge

Pre-treatment	examples
Mechanical/physical	Milling, chaffing, ultra sonic
chemical	Acids, base, wet oxidation
Bio-technological	Enzymes, fungi,
Thermal	Steam explosion, thermal pressure hydrolysis

HEIZKESSEL und BRENNER

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Energie-/Kosteneinsparungskriterien für Heizkessel (1)

- ✓ Elektrische Beheizung vermeiden. Umweltschonendere Brennstoffe verwenden.
- ✓ Erdgas oder LPG ermöglichen energieeffiziente Technologien.
- ✓ Niedrigerer Dampfdruck / Temperatur senkt Verluste und Kosten.
- ✓ Niedrige Lastfaktoren vermeiden (< 30%).
- ✓ Hocheffiziente HK für Grundlast / niedrigeffiziente HK für Spitzenlast
- ✓ Überdimensionierte Anlagen und/oder Anlagen mit geringer Leistung vermeiden.
- ✓ Bei niedrigen Temperaturen Warmwasser- und Brennwertkessel einsetzen.

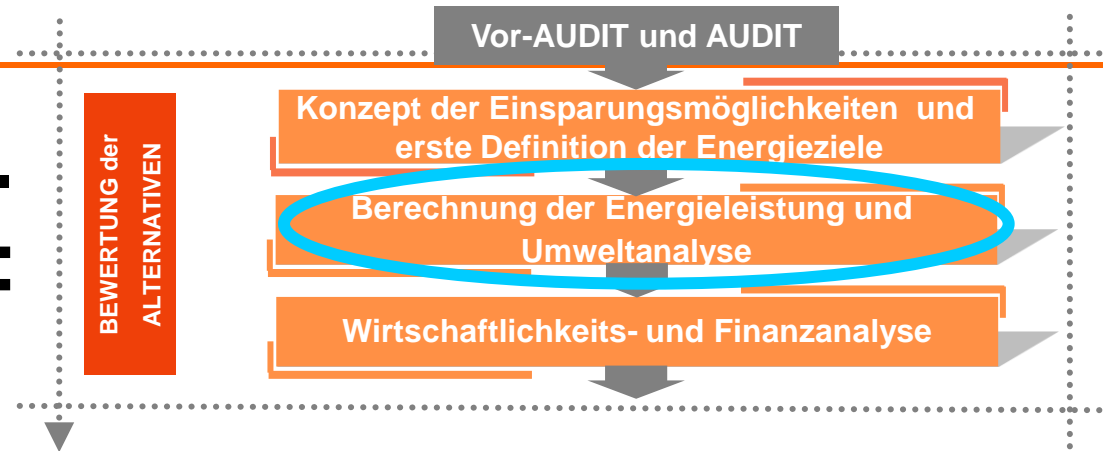
HEIZKESSEL und BRENNER

SCHRITT 7.5: Entwurf des alternativen Versorgungssystems

Energie-/Kosteneinsparungskriterien für Heizkessel (2)

- ✓ Regulierungsstrategie optimieren.
- ✓ Abgastemperatur senken, Luftüberschusszahl anpassen und Heizkessel isolieren.
- ✓ Vorwärmer und/oder Lufterhitzer (Rekuperator) einbauen.
- ✓ Kondensat zurückgewinnen.
- ✓ Abschlammung verringern und Wärme daraus zurückgewinnen.
- ✓ Wenn HK regelmäßig stillstehen, Klappen verwenden.

BEWERTUNG D. ALTERNATIVEN: SCHRITT 8



EINSTEIN Schritt 8: Berechnung der Energieleistung und Umweltanalyse

> Schnellberechnung

> Systemsimulation mit spezifischer externer Software

> Energie- und Umweltanalyse

SCHRITT 8.1: Schnellberechnung

EINSTEIN Software System-Simulation

Berechnungsgrundlagen:

- ✓ Gesamtwärmebedarf für Anlage j
- ✓ Summe des restlichen Bedarfs aller angeschlossenen Versorgungsleitungen (Index m)
- ✓ Potentielle Energieabgabe der Versorgungsanlage in der Kaskade
- ✓ Energieleistung der Versorgungsanlage ist normalerweise von Temperaturniveaus abhängig (bei Wärmepumpen auch von verfügbarer Wärme)

$$\dot{Q}_{D,j}(T,t) = \sum_{connected_pipes} \dot{Q}_{D,m}^{res}(T,t)$$

Die abgegebene Nutzwärme durch die Anlage j in der Kaskade ist das Minimum aus der maximal möglichen Abgabeleistung und dem Verbrauch:

$$\dot{Q}_{USH,j}(T,t) = \min \left[P_{j,max}(T,...), \dot{Q}_{D,j}(T,t) \right]$$

SCHRITT 8.2: Bewertung der Energieleistung

Systemsimulation mit externer Software

→ *Wenn Berechnung genauer sein muss externe Systemsimulation durchführen*

✓ Hinweise dazu im EINSTEIN Bericht: Review of Thermal Energy Auditing Practices and Tools (Project deliverable D2.2)

SCHRITT 8.3: Bewertung der Energieleistung

Umweltanalyseparameter

- ✓ Verbrauch von Primärenergie als Hauptindikator
 - stellt gewichteten Durchschnitt der verschiedenen Emissionen dar
- ✓ CO₂-Ausstoß
 - lässt Auswirkungen anderer Emissionsarten wie Atommüll außer Acht
- ✓ Anfallen von Atommüll
 - aufgrund des Stromverbrauchs
- ✓ Wasserverbrauch

➔ *Die gewünschten Umwandlungsparameter können in den EINSTEIN Datenbanken konfiguriert werden*