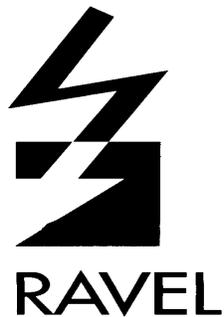


1992 724.397.31.52 D

Materialien zu RAVEL

WRG / AWN- Checkliste

Robert Brunner



Ressort 31:
Wärme (WKK, WP, WRG)
Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen
(BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/61 21 39
Fax: 031/61 20 57

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein+Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Hans Rudolf Gabathuler
Gabathuler AG
Kirchgasse 23
8253 Diessenhofen
Tel.: 053/37 41 01

Autoren: Robert Brunner
Dr. Brunner & Partner AG
Industriestrasse 5
5432 Neuenhof
Tel.: 056/86 61 66
Fax: 056/86 61 69

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, September 1992

Auszugweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.31.52 D)

Materialien zu RAVEL
**WRG / AWN-
Checkliste**

Robert Brunner



Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	3
2.	Checkliste für Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	4
2.1	Die Stellung der WRG/AWN innerhalb des Energiekonzepts	4
2.2	Abgrenzung	5
3.	Vorgehen	7
3.1	Neuanlagen	8
3.2	Bestehende Anlagen	8
4.	Arbeiten mit den Checklisten	9
4.1	Die Checklisten	9
4.1.1	Quellen	10
4.1.2	Senken	13
4.1.3	Vernetzung	15
5.	Die Checklistenparameter	18
5.1	Quellen-/Senkenparameter	18
5.1.1	Art der Quelle - Energieverbrauch - Verluste	18
5.1.2	Abwärme	18
5.1.3	Verbraucherart	18
5.1.4	Nutzungsort	20
5.1.5	Wärmemenge - Leistung - Leistungsgang	20
5.1.6	Temperatur - Temperaturgang	20
5.1.7	Betriebszeiten - Betriebszyklen - Betriebsweise	20
5.1.8	Wärmetransport - Form der Wärmeabgabe - Wärmeträger	21
5.1.9	Strömungstechnische Eigenschaften - Strömungsgeschwindigkeit - Durchfluss	21
5.1.10	Druck	21
5.1.11	Feuchte	21
5.1.12	Stoffwerte des Wärmeträgers	21
5.1.13	Stoffliche Zusammensetzung und Eigenschaften	22
5.1.14	Anschlüsse	24
5.1.15	Anlagelebensdauer	24
5.1.16	Aufstellung	24
5.1.17	Besonderes	24
5.1.18	Beurteilung	24
5.2	Vernetzungsparameter	25
5.2.1	Temperaturdifferenz	25
5.2.2	Energieangebot/ Energiebedarf	26
5.2.3	Leistungsspitze Angebot/ Nachfrage	26
5.2.4	Betriebszyklus und Betriebszeit	27
5.2.5	Distanz Quelle - Senke	28
5.2.6	Übereinstimmung der Anlagenlebensdauer	28
5.2.7	Stofftrennung	28
5.2.8	Weitere bauliche Randbedingungen	29
5.3	Messmethoden in WRG/AWN-Anlagen	29
6.	Lösungsfindung	32
6.1	Realisiert: Transformator-Abwärmenutzung	32
6.2	Nicht realisiert: Einbrennlackierofen	33
7.	Literatur	34

1. Zusammenfassung

Wärmerückgewinnung (WRG) und Abwärmenutzung (AWN) sind Bestandteil eines Energiekonzepts. WRG/AWN-Lösungen müssen unter Beachtung verschiedenster Randbedingungen erarbeitet werden. Die vorgestellte Methode liefert einen Beitrag zur strukturierten Auffindung von WRG/AWN-Möglichkeiten in der Haus- und Prozesstechnik. Das Schwergewicht liegt auf der Haustechnik mit besonderer Berücksichtigung der Nahtstelle zur Prozesstechnik.

Anlässlich einer Betriebsaufnahme (Ist-Aufnahme) werden bei bestehenden Anlagen Abwärmequellen und Wärmeverbraucher mittels Checklisten in ihren wesentlichsten Eigenschaften erfasst. Bei Neuanlagen müssen die entsprechenden Punkte in die Planung einfließen.

Die Checklisten für Quellen und Senken enthalten die energierelevanten Parameter. Wünschenswert wäre das Vorhandensein zuverlässiger Messwerte. Breiter Raum wird dem Wärmeträger zugeordnet, da dessen Eigenschaften wesentlichen Einfluss auf die Wahl der WRG/AWN-Komponenten haben. Schon ein einzelner, problembehafteter Parameter kann eine WRG/AWN-Lösung zunichte machen.

Die Verbindung von Quelle und Senke wird über vier Vernetzungsgrößen beurteilt. Das Ergebnis ist nicht notwendigerweise ein Endergebnis, es kann Ausgangspunkt für weitere Optimierungsschritte sein, die anschaulich im Energieflussdiagramm nachvollzogen werden können. Für komplexe Anlagen sind Computermethoden unumgänglich.

2. Checkliste für Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

2.1 Die Stellung der WRG/AWN innerhalb des Energiekonzepts

Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung sind Techniken zum rationellen Einsatz der Energie. Im Rahmen eines Energiekonzepts erscheinen sie aber nicht an erster Stelle (Bild 1). Nutzung von Abwärme ist prinzipiell erst dann vorzusehen, wenn alle vertretbaren Möglichkeiten zur Vermeidung von Abwärme sowie zur rationellen Wärmebedarfsdeckung ausgeschöpft worden sind.

Eine bewährte Reihenfolge der Massnahmen, die sich gebietsspezifisch in der Begriffswahl unterscheiden, zeigt die nachstehende Liste:

	Industrie:	Wohn-/Komfortbereich:
1.	Vermeidung unnötigen Verbrauchs	Bedarf reduzieren
2.	Senkung des spezifischen Energiebedarfs	Verluste vermindern
3.	Steigerung der energetischen Nutzungsgrade	Nutzung der freien Wärme diffuser Wärmequellen gute Regelung
4.	Energierückgewinnung	Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung
5.	Nutzung regenerativer Energiequellen	Bereitstellen der Restenergie (umwelt- und kostenschonend)

Bild 1: Massnahmenkatalog für Industrie- und Wohnbereich

Im Industriebereich sind immer auch Prozesswärmequellen beteiligt, regenerative Quellen sind nicht überall einsetzbar. Die Produktion und deren Rationalisierung stehen im Vordergrund.

Im Wohnbereich besteht der Prozess aus der Bereitstellung von Komfortwärme bei möglichst tiefem Verbrauch. Verluste vermindern heisst dann Wärmedämmung. Die gute Nutzung von Sonne, Geräte- und Personenabwärme kommt einer Steigerung des Nutzungsgrades des Hauses gleich. Hauptzielrichtung bildet der rationelle Einsatz der Energie zur optimalen Befriedigung der Komfortbedürfnisse.

2.2 Abgrenzung

WRG/AWN wird in praktisch allen technischen Disziplinen angewandt, eine allumfassende Behandlung ist in einem kurzen Abriss nicht möglich. Der Schwerpunkt der vorliegenden Betrachtungen wird auf die WRG/AWN im Gebiet der Haustechnik und auf die AWN von Prozesstechnik-Wärmequellen in der Haustechnik gelegt (Bild 2). Die AWN von Haustechnik-Wärmequellen für die Prozesstechnik nimmt eine eher untergeordnete Rolle ein. WRG/AWN im Gebiet der industriellen Prozesstechnik ist den Spezialisten vorbehalten, die notwendigen vielfältigen prozessspezifische Kenntnisse würden den Rahmen sprengen.

		S E N K E N	
		HAUS - TECHNIK	PROZESS - TECHNIK
Q U E L L E N	HAUS - TECHNIK	WRG - AWN	AWN
	PROZESS - TECHNIK	AWN	WRG - AWN

Bild 2: Abgrenzung der zu bearbeitenden Bereiche

Mit den vorliegenden Checklisten sollen in erster Linie die Energiebeauftragten im Industrie- und Dienstleistungsbetrieb angesprochen werden, die die energierelevanten Haustechnikanlagen (hauptsächliche Energieverbraucher) betreuen. Eingeschlossen in das Zielpublikum sind ebenfalls Haustechnik-Planer, Techniker und Meister. Viele Ideen bezüglich rationellem Energieeinsatz stammen aus dem oben umrissenen Umfeld. Die WRG/AWN-Checkliste ist dabei eine Hilfe zur Problemstrukturierung. Sie bildet ein Hilfsmittel zum Erarbeiten von erfolgversprechenden Lösungen und zum frühzeitigen Erkennen von "Sackgassen".

	Gebäude- und Haustechnik	Verfahrens- und Produktionstechnik
Verbesserung durch organisatorische und betriebliche Massnahmen	Energieverbrauch bekanntmachen; Abwärmeströme nach Art, Grösse, Ort und Zeitgang feststellen. Verhältnis von Fortluft zu Zuluft sinnvoll einstellen; Umluftbetrieb optimieren; Raumtemperaturen reduzieren; usw.	Prozessüberprüfung; Energieflussanalyse Temperatur reduzieren; Zeitprogramm überprüfen; usw.
Verbesserung durch Massnahmen mit kleinem Investitionsaufwand	Verteilverluste reduzieren; Steuerung/ Regelung verbessern; Wirkungsgrad der Wärmeerzeuger verbessern; Zeitschaltuhren einbauen; usw.	Kondensat-Ausnutzung; Rohrleitungen wärmedämmen; Regelung verbessern; Antriebe mit variabler Drehzahl; usw.
Verbesserung durch Massnahmen mit hohem Investitionsaufwand	Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen; Abwärme nutzen für Warmwasser und Heizungsunterstützung; Gebäudeleittechnik einsetzen; freie Kühlung einsetzen; Kondensatorwärme der Kühlmachine nutzen; usw.	Wärmerückgewinnung im Prozess; Brüdenkompression; Abwärmenutzung im Betrieb; Prozessleittechnik einsetzen; Produktionsmaschinen mit höherem Nutzungsgrad; usw.

Bild 3: Beispiele für Massnahmen für sinnvolle Energienutzung im Wohn- und Industriebereich.

3. Vorgehen

Am Anfang steht die Absicht oder Notwendigkeit zur rationellen Verwendung der Energie. Der Bauherr bzw. Anlagenbetreiber muss diesem Punkt das nötige Gewicht beimessen, sind doch immer damit Änderungen in der Organisation des Betriebsablaufs und Investitionen verbunden. Es handelt sich dabei um eine Grund-satz-entscheidung, die vom Management bzw. der Bauherrschaft beschlossen werden muss. In einem inno-vativen Klima kommen Ideen sowohl von der Basis als auch aus dem Führungsstab.

Zur Erarbeitung von Lösungen im Energiesektor werden verschiedene Hilfsmittel eingesetzt. Bewährt haben sich verschiedene Formen von Checklisten. Im Rahmen von Energiekonzepten sind sie als Massnahmen-blätter bekannt.

Massnahmenblätter enthalten Massnahmen, die mit verschieden grossem Aufwand realisiert werden kön-nen. WRG/AWN und Fremdquellennutzung sind in Massnahmenblättern einzelne Rubriken, die allenfalls in ver-steckter Form Hinweise auf Spezifikationen von Quellen und Senken enthalten. Ein Beispiel für einen Massnahmenkatalog ist in Bild 3 gezeigt. Rationelle Energieverwendung bzw. Energiesparen kann danach in 3 Stufen unterschieden werden, gegliedert nach zeitlichem und sachlichem Aufwand. In der ersten Stufe werden organisatorische und betriebliche Massnahmen ergriffen. Das engagiertere Anpacken der Probleme in der zweiten Stufe erfordert Massnahmen mit kleinem Investitionsaufwand resp. mit kurzen Rückzahlzei-ten. Zuletzt in der dritten Stufe werden Massnahmen mit hohem Investitionsaufwand bzw. längeren Rück-zahlzeiten realisiert.

Im Sanierungsfall gehört die WRG/AWN in die zweite bis dritte Stufe. In der Planungsphase bei Neuanlagen kann die rechtzeitige Einbringung der WRG/AWN-Ideen aber wegen den Wechselwirkungen mit den ver-schiedenen Anlagen zu gesamthaft günstigeren Lösungen führen.

Steht fest, dass WRG/AWN eingesetzt werden soll, so kommen bei der Abklärung der Möglichkeiten die WRG/AWN-Checklisten zum Zuge. Sie unterscheiden sich durch diese Eingrenzung von den generellen Massnahmenblättern. Die WRG/AWN-Checklisten befassen sich hauptsächlich mit der Nutzung von Abwär-mequellen und deren besten Verbindung mit geeigneten Verbrauchern.

Die spezifische Gewichtung der Kriterien und Randbedingungen muss in jedem Einzelfall neu vorgenommen werden. Die Wahl der endgültigen Systemkonfiguration ist letztendlich ein individueller, schöpferischer Pro-zess.

Die Ausgangslage bei der WRG/AWN-Anwendung lässt sich grob in vollständige Neuanlagen, in Neuanla-gen, die mit bestehenden Anlagen energetisch verbunden werden, und in die energetische Sanierung von be-ste-henden Anlagen unterteilen. Im ersten Fall sind die grössten Freiheiten beim Aufstellen eines Energiekonzepts vorhanden. Werden, wie im zweiten Fall, bestehende Anlagen mit Neuanlagen verbunden, so wirken die Rand- bedingungen umso einschränkender, je stärker die energetische Koppelung und je hö-her die räumliche Konzentration ausfällt. Sanierungen von bestehenden Anlagen werden hauptsächlich von den gegebenen Randbedingungen der vorgefundenen Situation geprägt.

Damit Abwärme genutzt werden kann, müssen immer auch Senken vorhanden sein. Die Reihenfolge der Suche von Abnehmern sollte lauten: prozessinterne Abnehmer (Wärmerückgewinnung) - betriebsinterne Ab-nehmer (Abwärmennutzung) - externe Abnehmer (Abwärmennutzung).

Allen Fällen gemeinsam ist ein Vorgehen gemäss dem Ablauf in Kapitel 1.1 und die Auflistung der Randbe-dingungen. Die Vernetzung der Anlagen zum Zwecke einer flexiblen Wärmestromführung erfordert Phanta-sie und ist auf manche Art und Weise möglich. Allerdings stehen im allgemeinen nur bei vollkommen neuen Anlagen alle Vernetzungsmöglichkeiten offen.

3.1 Neuanlagen

Bei Neuanlagen besteht die Gelegenheit, unabhängig von Bestehendem ein optimales System aufzubauen. Ausgehend von den verschiedenen Bedürfnissen können die geeignetsten Energieträger, die Energiewandler und die internen Verknüpfungen unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte gewählt werden. Aufgrund der Verbraucherstruktur und unternehmerischen Vorgaben wird ein Energiekonzept aufgestellt. Die Wahl der Energieträger und Energiewandler muss situationsbedingt erfolgen. Rationelle Energienutzung mit WRG/AWN bedingt die Verknüpfung verschiedener Anlagen, wobei der Verknüpfungsgrad auch wieder von Wünschen, Vorschriften und Sicherheitsanforderungen abhängig ist.

Bei Neuanlagen, die mit bestehenden Anlagen verbunden werden, müssen die zusätzlichen Randbedingungen beachtet werden. Die bestehenden Anlagen ergeben feste Randbedingungen und können die Vernetzungsmöglichkeiten einschränken. Oft ist ein Erneuerungsbedarf der alten Anlagenteile in näherer Zukunft in Betracht zu ziehen.

3.2 Bestehende Anlagen

Bestehende Anlagen müssen vorgängig einer Sanierung in verschiedener Hinsicht analysiert werden. Ausgehend vom Istzustand muss ein Sollzustand definiert werden. Die Umsetzung in ein Sanierungskonzept muss über ein Variantenstudium erfolgen, da meistens mehrere Wege zu einer Lösung führen. Die Randbedingungen in Form der Einschränkungen durch bestehende Anlagen müssen zuverlässig erhoben werden.

Bestehende Anlagen verlangen eine genaue Analyse. Nebst Erhebungen sollten bei kritischen Fällen gezielte Einzelmessungen durchgeführt werden. In eindeutigen Fällen genügen Grobabschätzungen, eventuell unterstützt von globalen Messwerten.

Eine solche globale Grösse ist die volumetrische Energiekennzahl (VEK). Sie lässt eine grobe Abschätzung einer allenfalls nutzbaren Abwärme in bezug auf den Gesamtenergieverbrauch zu.

Die VEK wird aus dem Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes, dividiert durch das beheizte Gebäudevolumen gebildet. Liegt die VEK für einen Betrieb wesentlich über 90 kWh/m³ a, so kann mit grosser Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass nutzbare Abwärme vorhanden sein muss.

4. Arbeiten mit den Checklisten

Die Checklisten dienen der Erfassung der energierelevanten Grössen von Systemen und Anlagen, sie sind Hilfsmittel zur Analyse für einen effizienteren Energieeinsatz, sie liefern Daten für die Abklärungen von Verbes- serungen und für die Projektierung von WRG/AWN-Anlagen.

Die ersten drei Punkte der Massnahmenliste (Bild 1) sollten abgecheckt sein. Nach Einbau der WRG/AWN müssen die Schritte 1 bis 3 nochmals durchgegangen werden, da sich die sanierte Anlage unter Umständen etwas anders betreiben lässt. Rationelle Energienutzung ist in diesem Sinne ein iterativer Prozess, der stän- dig, in allerdings kleiner werdenden Schritten, verbessert werden kann.

Allgemein wird mit einer Bestandesaufnahme der Erzeuger und Verbraucher begonnen. In der Planung wird sie theoretisch abgeleitet oder festgelegt, bei einer Sanierung wird ein Inventar der Quellen und Senken im Betrieb erstellt.

In einem anschliessenden Schritt werden die Quellen und Senken qualitativ und quantitativ beurteilt. Die ver- schiedenen Kriterien sind auf den Checklistenblätter für Quellen und Senken aufgeführt. Aufgrund der erar- bei- teten Angaben ergeben sich die besten Einsatzmöglichkeiten.

In einfachen Fällen (ein bis zwei Quellen-Senkenpaare) sind die Möglichkeiten anhand der Verknüpfungs grös- sen rasch erstellt.

Wo mehrere Möglichkeiten offen stehen, wird die beste Quellen-Senken-Anpassung durch mehrfachen Quer- vergleich mittels der Verknüpfungsmatrizen eruiert. In einem ersten Lauf werden die offensichtlichen besten Anpassungen für die einzelnen Quellen-Senken-Paare gemacht. Anschliessend ist zu überlegen, ob nicht noch andere Kombinationen zu einer noch besseren Gesamtanlage bzw. einem Gesamtsystem führen.

Bei sehr vielen Paaren wird eine Handauswertung zu aufwendig. Dann bleibt die Möglichkeit, sich auf die grössten Energieströme zu konzentrieren und eine grobe Anlagenstrategie zu entwickeln. Komplexe, um- fangreiche Anlagen können nur mit dem Computer und den entsprechenden Methoden vollständig optimiert werden.

Die erarbeitete Lösung wird grob in einem Energieflussschema dargestellt.

Am Schluss wird durch messtechnischen Nachweis der Beweis des Erfolgs erbracht. Dazu muss allerdings auch ein entsprechendes Messkonzept vorliegen. Um einen allfälligen Sanierungserfolg in Zahlen nachwei- sen zu können, müssen Messwerte der Anlage vor der Sanierung vorhanden sein. Messwerte sind wertvolle Infor- mationen bei der Ist-Zustand-Analyse.

4.1 Die Checklisten

Für jede Quelle bzw. Senke wird anlässlich der Betriebsaufnahme ein Checklistenformular erstellt. Die quantitativen Eigenschaften sind möglichst vollständig zu erheben. Sie sind, wo nötig, mit Messungen und Abschätzungen zu untermauern. Die qualitativen Eigenschaften sind zu bewerten und in den entsprechen- den Spalten einzutragen. Die Parameter sind in Kapitel 4 näher erläutert und müssen im dort dargestellten Sinn beurteilt werden. Die Blätter sind universell einsetzbar (Verfahrenstechnik, Haustechnik). Aus Über- sichtlichkeitsgründen werden nur die wesentlichen Parameter aufgeführt, Besonderheiten sind in der vorge- sehenen Rubrik aufzuführen.

4.1.1 Quellen

Jede Quelle wird mit der Referenznummer bezeichnet. In Form eines ausführlichen Datenblatts werden die energetischen Eigenschaften (Maximal-, Mittel-, Minimalwert von: Energiemenge - Leistung - Temperaturen und Leistung-Zeit-Diagramme) quantitativ festgehalten. Für eine umfassende Analyse sollten die spezifizierten Werte aufgrund verlässlicher Messwerte eingetragen werden. In den Fällen, in denen das nicht möglich ist, sollten die Werte abgeschätzt und erst zuletzt Erfahrungswerte eingesetzt werden.

Ferner gehören dazu die Beschreibung der Form der Energie, Eigenschaften des Energieträgers, Abschätzung der möglichen Abwärmemenge und fallweise Besonderheiten, die beachtet werden müssen.

Die drei letzten Spalten dienen der Beurteilung der Quelle. Die verschiedenen Eigenschaften werden der jeweiligen Spalte zugeordnet. Bei quantitativen Angaben erfolgt keine Beurteilung in diesen Spalten. In der *** Spalte werden unproblematische Eigenschaften markiert. Mit steigendem technischen Schwierigkeitsgrad werden Eintragungen in der ** oder der * Spalte notwendig. Die Zuordnung erfolgt gemäss der Diskussion in Kap.4. Generell gehören die zuoberst in der Zelle erscheinenden Eigenschaften in die *** Spalte. Die einzelnen Eigenschaften weisen das gleiche Gewicht auf. In der letzten Zelle werden die Summen gebildet. Überwiegen die Eintragungen in der hintersten Spalte, so ist mit grösseren Schwierigkeiten bei der Realisierung zu rechnen. Eine Nutzung ist dann oft nur bei grosser Abwärmemenge sinnvoll.

Tritt nur schon eine Grösse in einer ** oder * Spalte auf, so sind genaue Abklärungen der betroffenen Positionen notwendig. Zeigen die Vorabklärungen keine tragbaren Lösungen der Probleme auf, so fällt die Quelle für diesen Einsatz ausser Betracht.

Quelle: _____	Referenznummer: Q __	Beurteilung		
Bezeichnung	Eigenschaft	***	**	*
Art der Quelle				
Energieverbrauch	_____ kWh	-	-	-
Verluste	_____ % vom Energieverbrauch	-	-	-
Abwärme	_____ % vom Energieverbrauch	-	-	-
min. Wärmemenge:	_____ kWh	-	-	-
mit. Wärmemenge:	_____ kWh	-	-	-
max. Wärmemenge:	_____ kWh	-	-	-
min. Leistung:	_____ kW	-	-	-
mit. Leistung:	_____ kW	-	-	-
max. Leistung:	_____ kW	-	-	-
Leistungsgang P(t):	Tabelle/ Graphik	-	-	-
min. Temperatur:	_____ -Temp.1 _____ °C	-	-	-
mit. Temperatur:	_____ °C	-	-	-
max. Temperatur:	_____ °C	-	-	-
Temperaturgang T(t):	Tabelle/ Graphik	-	-	-
Betriebszeiten:	_____ Std./Tg.	-	-	-
Betriebszyklen:	Tabelle/ Graphik	-	-	-
Betriebsweise:	kontinuierlich intermittierend chargenweise			
Wärmetransport:	Konvektion Leitung Strahlung			
Form der Wärmeabgabe:	leitungsgebunden diffus			
Wärmeträger:	Wasser Luft Flüssigkeit Gas Feststoff			

Bild 4.1: Checkliste "Wärmequelle"

Quelle: _____	Referenznummer: Q __	Beurteilung		
Bezeichnung	Eigenschaft	***	**	*
Strömungstechnische Eigenschaften:	erzwungene Konvektion freie Konvektion			
Strömungsgeschwindigkeit	_____ m/s	-	-	-
Durchfluss	_____ m ³ /s	-	-	-
Druck	_____ Pa	-	-	-
rel. Feuchte:	_____ % r.F.	-	-	-
Dichte:	_____ kg/m ³	-	-	-
Wärmekapazität:	_____ kJ/kg K	-	-	-
dyn. Viskosität:	_____ Pa s	-	-	-
Oberflächenspannung:	_____ N/m	-	-	-
Physikalische Eigenschaften des Wärmeträgers:	homogen dispers rauchförmig abrasiv verschmutzend			
Chemische Eigenschaften:	inert korrosiv umweltbelastend brennbar explosiv			
Physiologische Eigenschaften:	unbedenklich toxisch verschmutzt			
Anschlüsse:	_____ m (Abmessungen)	-	-	-
Anlagelebensdauer (Alter)	Anfang Mitte Ende			
Aufstellung:	zentral dezentral			

Bild 4.2: Checkliste "Wärmequelle"

Quelle: _____	Referenznummer: Q __	Beurteilung		
Besonderes: Beschreibung von nicht tabellarisch erfassten Eigenschaften, die ebenfalls eine Rolle spielen.	Vorschriften Risiken Abhängigkeiten von weiteren Prozessen Zugänglichkeit usw.			
Summe der Indikatoren: (Eignung als Abwärmequelle)	geeignet, gut (***) möglich, brauchbar (**) fraglich, problematisch (*)			

Bild 4.3: Checkliste "Wärmequelle"

4.1.2 Senken

Jede Senke wird mit der Referenznummer bezeichnet. In Form eines ausführlichen Datenblatts werden die energetischen Eigenschaften (Maximal-, Mittel-, Minimalwert von: Energiebedarf - Leistungsbedarf Temperaturbedarf und Leistungsbedarf-Zeit-Diagramme) festgehalten. Für eine umfassende Analyse sollten die spezifizierten Werte aufgrund verlässlicher Messwerte eingetragen werden. In den Fällen, in denen das nicht möglich ist, sollten die Werte abgeschätzt und erst zuletzt Erfahrungswerte eingesetzt werden.

Ferner gehören dazu die Verbraucherart, der Nutzungsort, die Beschreibung des eingesetzten Energieträgers und fallweise Besonderheiten, die beachtet werden müssen.

Zur Beurteilung der Senke wird nur in "problemlos" und "anspruchsvoll" unterschieden, hauptsächlich aufgrund der Verbraucherart und dem Nutzungsort.

Senke: _____	Referenznummer: S __	Beurteilung		
Bezeichnung	Eigenschaft	***		*
Verbraucherart				
Nutzungsort	prozessintern (WRG) betriebsintern (AWN) extern (AWN)			
min. Wärmebedarf:	_____ kWh	-	-	-
mit. Wärmebedarf:	_____ kWh	-	-	-
max. Wärmebedarf:	_____ kWh	-	-	-
min. Leistungsbedarf:	_____ kW	-	-	-
mit. Leistungsbedarf:	_____ kW	-	-	-
max. Leistungsbedarf:	_____ kW	-	-	-
Leistungsbedarfsgang P(t):	Tabelle/ Graphik	-	-	-
min. Temperaturbedarf:	_____ -Temp.1	_____ -Temp.2		
mit. Temperaturbedarf:	_____ °C	_____ °C	-	-
max. Temperaturbedarf:	_____ °C	_____ °C	-	-
Temperaturbedarfsgang T(t):	Tabelle/ Graphik	-	-	-
Betriebszeiten:	_____ Std./Tg.	-	-	-
Betriebszyklen:	Tabelle/ Graphik	-	-	-
Betriebsweise:	kontinuierlich intermittierend chargenweise			
Wärmetransport:	Konvektion Leitung Strahlung			
Wärmeträger:	Wasser Luft Dampf Thermoöl andere (spezifizieren)			

Bild 5.1: Checkliste "Wärmesenke"

Senke: _____	Referenznummer: S __	Beurteilung		
Bezeichnung	Eigenschaft	***		*
Strömungstechnische Eigenschaften:	erzwungene Konvektion freie Konvektion			
Strömungsgeschwindigkeit	_____ m/s	-	-	-
Durchfluss	_____ m ³ /s	-	-	-
Druck	_____ Pa	-	-	-
rel. Feuchte:	_____ % r.F.	-	-	-
Anschlüsse:	_____ m (Abmessungen)	-	-	-
Anlagelebensdauer (Alter)	Anfang Mitte Ende			
Besonderes: Beschreibung von nicht tabellarisch erfassten Eigenschaften, die ebenfalls eine Rolle spielen.	Vorschriften Risiken Abhängigkeiten von weiteren Prozessen Zugänglichkeit usw.			
Summe der Indikatoren: (Eignung als Abwärmesenke)	problemlos (***) anspruchsvoll (*)			

Bild 5.2: Checkliste "Wärmesenke"

4.1.3 Vernetzung

Zur Verbindung von Quelle und Senke müssen die verschiedenen Größen aus den Checklisten miteinander verglichen werden.

Als hauptsächliche Kriterien dienen:

- die Temperaturdifferenz der Quelle zur Senke
- das Verhältnis Energieangebot/ Energiebedarf
- der zeitliche Abstand von Angebotsmaximum zu Bedarfsmaximum (Abstand der Leistungsspitzen)
- die räumliche Distanz von Quelle zu Senke

In einfachen Fällen wird eine Quelle direkt mit einer Senke verbunden, in komplexen Anlagen werden mehrere Quellen mit verschiedenen Senken vernetzt. Die wesentlichen Vernetzungsgrößen werden für ausgewählte Quellen-Senkenpaare in der Vernetzungsliste eingetragen (Bild 6).

Bezeichnung	Wert	Fall A	Fall B
Temperaturdifferenz Quelle - Senke TQ - TS	___ K	> 0 K	< 0 K
Verhältnis der Energie von Angebot zu Bedarf EQ / ES	___ -	> 1	< 1
Zeitl. Abstand der Maxima Angebot zu Bedarf PP(Q - S)	___ h - d - w - m	h - d	w - m
Distanz Quelle - Senke D (Q - S)	___ m	X0 m	X00 m

Bild 6: Vernetzungliste für ein direkt verbundenes Quellen-Senkenpaar

Vernetzungsgrösse	Konsequenzen	
	Fall A	Fall B
TQ - TS	Wärmetauscher	Wärmepumpe
EQ / ES	Überschuss Lastmanagement	Teildeckung Energiemanagement
PP(Q - S)	Kurzzeitspeicher Anpassung	Langzeitspeicher Betriebsstrategie
D (Q - S)	Transportaufwand (tief) Verlust (tief)	Transportaufwand (hoch) Verluste (hoch)

Bild 7: Vernetzungsgrössen und Systemkonsequenzen

Die Werte der Vernetzungsgrösse bestimmen die zu wählenden Systeme. Grobe Anhaltspunkte können aus dem Bild 7 herausgelesen werden. Der Fall A ist meistens günstiger hinsichtlich Technikanforderungen und Aufwand als Fall B.

Der Einsatz von Speichern erhöht die Anlagekosten. Langzeitspeicherung ist anspruchsvoller und kostenintensiver als Kurzzeitspeicherung. Die zwischenzuspeichernde Energiemenge bestimmt die Speichergösse, die Überbrückungsdauer die Qualität der Speicherwärmedämmung. Langzeitspeicherung ist nur für grosse Wärmemengen und preisgünstige Speicher interessant, zudem weisen grosse Speicher kleinere spezifische Verluste auf.

Nebst diesen Grössen hat die Beurteilung von weiteren Randbedingungen wie langfristige Anlagenverfügbarkeit, Konzentration in Technikscherpunkten (zentral/ dezentral), Form der Wärmeabgabe usw. einen entscheidenden Einfluss auf die Lösung. Steht das ganze Spektrum der Anpassglieder (Wärmetauscher und Wärmepumpen) zur Verfügung, so ist die Lösungsvielfalt grösser als wenn eine Beschränkung auf Wärmetauscher vorliegt.

Stehen mehrere Quellen und Senken zur Diskussion, so sind die obigen Überlegungen für jede Quellen-Senken-Kombination in direkter Verbindung durchzuführen.Ü

bersichtlich lässt sich der Sachverhalt in einer Tabelle darstellen, in der die Quellen zeilenweise und die Senken spaltenweise eingetragen werden. Die Zuordnung erfolgt über die entsprechenden Referenznummern. In jedes Feld dieser sog. Verknüpfungsmatrix werden die 4 Vernetzungsgrößen eingetragen. In den wenigsten Fällen wird ein bestimmtes Quellen-Senken-Paar in allen Vernetzungseigenschaften maximal übereinstimmen. Für den aktuellen Fall wird eine Gewichtung der verschiedenen Kriterien notwendig. Das Feld mit der jeweils besten Kombination ergibt das direkt zu verbindende Quellen-Senken-Paar.

	S 01	S 02	S 03
Q 01	TQ1-TS1 EQ1/ES1 PP(Q1-S1) D(Q1-S1)	TQ1-TS2 EQ1/ES2 PP(Q1-S2) D(Q1-S2)	TQ1-TS3 EQ1/ES3 PP(Q1-S3) D(Q1-S3)
Q 02	TQ2-TS1 EQ2/ES1 PP(Q2-S1) D(Q2-S1)	TQ2-TS2 EQ2/ES2 PP(Q2-S2) D(Q2-S2)	TQ2-TS3 EQ2/ES3 PP(Q2-S3) D(Q2-S3)
Q 03	TQ3-TS1 EQ3/ES1 PP(Q3-S1) D(Q3-S1)	TQ3-TS2 EQ3/ES2 PP(Q3-S2) D(Q3-S2)	TQ3-TS3 EQ3/ES3 PP(Q3-S3) D(Q3-S3)

TQm-TSn =
Temperaturdifferenz der Quelle m
zur Senke n;

EQm/ESn =
Verhältnis Energieangebot m /
Energiebedarf n;

PP(Qm-Sn) =
zeitlicher Abstand der Maxima des
Angebots m und des Bedarfs n;

D(Qm-Sn) =
Distanz von Quelle m zur Senke n.

Bild 8: Verknüpfungsmatrix für je drei Quellen und Senken. Sie ist nicht zwingend quadratisch.

Im allgemeinen Fall ergibt die Bildung von autonomen Quellen-Senken-Paaren keine optimale Lösung. Sie liefert aber einen ersten Lösungsansatz. Erst die exergiegerechte Nutzung verschiedener Quellen mit unterschiedlichen Senken in einem verknüpften Wärmenetzwerk erlaubt eine rationelle Energieausnutzung.

Die derart erarbeitete Lösung muss zur weiteren Abklärung in ein Energieflussschema umgesetzt werden, das dann eine Grobanalyse des Problems erlaubt. Die Fragen um die Grösse der Energieflüsse und die Randbedingungen führen mitten in den Problemlösungsprozess.

Die Grenzen der Handauswertung und der Übersichtlichkeit wird mit diesem Vorgehen bei etwa 3 Quellen-Senken-Paaren erreicht. Für komplexere Gebilde wird mit Vorteil auf Computerprogramme und -methoden zurück- gegriffen.

5. Die Checklistenparameter

Bei der WRG/AWN spielen viele Einflussfaktoren mit. So sind die Abwärmeströme aus Anlagen eng gekoppelt mit dem Energieverbrauch und der Auslastung der Anlagen. Oft ist auch eine Abhängigkeit von der Aussentemperatur vorhanden. Die Gegebenheiten aus dem Betrieb des Verbrauchers bestimmen die nutzbare Abwärme. Einen Teil des Problems stellen somit Quellen und Senken dar, während ein anderes Teilproblem deren Verknüpfung ist. Es wird deshalb in Quellen-/Senken-Parameter und Vernetzungsparameter unterschieden.

5.1 Quellen-/Senkenparameter

Diese Parameter beschreiben die energetischen wie auch die stofflichen Aspekte. Die Art des Transportmediums der Abwärme, seine thermodynamischen Werte und Stoffeigenschaften sind wesentliche Beurteilungskriterien für die Abschätzung des Transportaufwands und die Nutzbarkeit der Abwärme.

Aus der Stoffzusammensetzung können die Korrosionseigenschaften und die Möglichkeit des Auftretens von Kondensation in den WRG/AWN-Apparaten abgeschätzt werden. Weiter lassen sich daraus Verdampfungs- und Kondensationswärme-Werte, die spezifische Wärme und die Dichte unter Betriebsbedingungen ableiten. Für andere Gase als Luft und für andere Flüssigkeiten als Wasser sind chemische Handbücher oder die Lieferantenangaben zu konsultieren.

Die stofflichen Eigenschaften des Wärmeträgers sind bestimmend für die Wahl eines geeigneten WRG/AWN-Systems und dessen Kosten.

5.1.1 Art der Quelle - Energieverbrauch - Verluste

Bei Energieumwandlungsprozessen entstehen Verluste, es findet nie eine vollständige Umwandlung in die angestrebte Energieform statt. Durch die weitere Nutzung der Verluste wird der gesamte Nutzungsgrad verbessert. Die Verluste sind je nach Wandler mehr oder weniger abhängig vom Energieverbrauch. In Bild 9 sind Beispiele dargestellt.

Als Energieverbrauch einer Quelle wird die der Quelle zugeführte Energie bezeichnet. Der Energieverbrauch steht im Idealfall als Messwert in kWh zur Verfügung. Oft muss er aus einem Brennstoffverbrauch ermittelt oder anderweitig abgeschätzt werden.

5.1.2 Abwärme

Die Abwärme muss nicht notwendigerweise aus einem Umwandlungsprozess stammen. Sie kann als Oberflächwärme aus einem chemischen Reaktor, als Kondensatorwärme einer Kühlmaschine, usw. anfallen. Nicht alle Verluste sind vollständig als Abwärme nutzbar. In dieser Rubrik wird die maximal mögliche Abwärme in % angegeben. Bei nicht verbrauchsproportionaler Abhängigkeit erfolgt die Angabe in der Rubrik Wärmemenge.

5.1.3 Verbraucherart

Es wird in die Verbraucherarten: Komfortwärme - Prozesswärme - Komfortkühlung - Prozesskühlung unterschieden. Im Komfortbereich sind die Anforderungen an die Verfügbarkeit und die Versorgungssicherheit etwas tiefer.

Art der Quelle	Energieträger	Beispiel (Quelle)
Elektro/ Elektro	Warmluft/ Wasser Kühlmittel	Trafo, Netzgerät, Computer
Elektro/ Mechanisch	Warmluft/ Warmwasser Kühlmittel	Maschinen
Elektro/ Thermisch	Warmluft/ Warmwasser	Schmelzöfen
Elektro/ Licht	Warmluft	Beleuchtung mit Kühlung
Mechanisch/ Elektro	Strom/ Warmluft/ Warmwasser Kühlmittel	Generator
Mechanisch/ Mechanisch	Warmluft/ Warmwasser Kühlmittel	Getriebe mech. Verfahrenstechnik
Verbrennungsprozesse (Brennstoffe)	Warmwasser/ Warmluft Rauchgase/ Dampf	Raumheizungen Dampf
Allgemeiner chemischer Reaktor	Warmluft/ Warmwasser Kühlmittel	Exotherme Reaktionen in Rührkessel
Produktionsprozess	Warmluft/ Warmwasser Kühlmittel	Trocknungsanlagen

Bild 9: Verschiedene Arten Abwärmequellen mit Beispielen mit möglichen Energieträgern zum Abführen der Wärme.

Verbraucherart	Wärmeträger	Beispiel (Senke)
Komfortwärme	Warmwasser	Warmwasserradiator
Komfortwärme	Warmwasser/ Warmluft Wärmetauscher	Lufterhitzer-
Komfortwärme	Warmwasser/ Dampf	Wassererwärmer
Prozesswärme	Dampf, Thermoöl	Dampferzeuger
Prozesswärme	Warmwasser/ Dampf	Mantelgefäß-Reaktor

Bild 10: Verschiedene Arten von Wärmeverbrauchern mit Beispielen.

5.1.4 Nutzungsort

Ideale Verhältnisse liegen bei der Nutzung innerhalb des Prozesses vor. Die höchsten Ansprüche sind bei einer Nutzung der Abwärme durch Dritte, ausserhalb des Betriebs, bezüglich Versorgungssicherheit zu erfüllen.

5.1.5 Wärmemenge - Leistung - Leistungsgang

Die nutzbare Abwärmemenge (Wärmeangebot) und der Schwankungsbereich muss bekannt sein oder abgeschätzt werden. Abhängig vom Sammelaufwand ist die Abwärmennutzung in einem breiten Bereich sinnvoll.

Die Leistung der Abwärmequelle ergibt sich bei Energiewandlern aus dem Brennstoffdurchsatz und dem prozentualen Anteil. Bei Wärmequellen wird die Leistung als Mittelwert aus der Wärmemenge in einem charakteristischen Zeitintervall ermittelt.

Die Aufnahme des Leistungsgangs erfolgt über Messreihen. Bei Anlagenoptimierungen sind diese Angaben notwendig.

Bei den Senken sind die entsprechenden Bedarfgrössen festzuhalten.

5.1.6 Temperatur - Temperaturgang

Die Temperatur am Quellenausgang sollte ein nutzbares Niveau aufweisen. Sie muss nicht über der Verbrauchertemperatur liegen, sie sollte aber genügend über der minimalen Einspeisungstemperatur der Senke liegen, sodass die WRG/AWN-Apparate funktionieren.

Bei hohen Temperaturen ist das Einsatzpotential für WRG/AWN gross. Das für den Wärmetauscher verwendete Material und die Konstruktionsart müssen auf die betrieblich auftretenden Temperaturgrenzen abgestimmt sein. Sonderausführungen, wie sie bei der Verfahrenstechnik oft vorkommen, sind teuer.

Für genaue Abklärungen und in Grenzfällen ist der Temperaturgang mit verschiedener zeitlicher Auflösung in Form von Tabellen oder Graphiken aufzunehmen.

Eine vollständige Analyse umfasst die Untersuchung von verschiedenen Temperaturen. Charakteristisch in konvektiven Systemen sind die Betrachtungen über Vorlauf-/Rücklauftemperaturen.

Bei den Senken müssen jeweils Vor- und Rücklauf aufgenommen werden, bzw. bekannt sein.

5.1.7 Betriebszeiten - Betriebszyklen - Betriebsweise

Die jährliche Betriebszeit sollte möglichst hoch sein, um eine hohe Energieausnutzung zu erzielen. Die Betriebszyklen dürfen nicht zu kurz sein. Bei kontinuierlicher Betriebsweise kann oft auf eine Zwischenspeicherung verzichtet werden. Intermittierender oder chargenweiser Betrieb verlangt bei nicht gleichsinnig laufendem Verbraucher eine Zwischenspeicherung.

5.1.8 Wärmetransport - Form der Wärmeabgabe - Wärmeträger

Die Wärme kann durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung abgegeben werden. Damit die Wärme transportiert werden kann, muss sie an einen stofflichen Wärmeträger gebunden werden. Einzig bei der Konvektion liegt diese Form vor. Bei den beiden andern Formen werden zusätzlich Sammeleinrichtungen gebraucht.

Bei diffuser Wärmeabgabe ist ein Sammel- und Konzentrationsprozess notwendig. Idealerweise liegt die Wärme gebunden an einen Stoff vor, dann ist sie bequem transportierbar.

Wasser und Luft in technisch reiner Form sind problemlose Wärmeträger. Es gibt eine grosse Auswahl von Standardkomponenten für diese Wärmeträger.

Bei Gasen und Flüssigkeiten sowie Gemischen sind Vorabklärungen notwendig. Oft sind nur speziell hergestellte Komponenten und Sonderbauformen zulässig.

Festkörper als Wärmeträger können nicht direkt eingesetzt werden, sondern nur immer mit Lade- und Entladeeinrichtungen.

5.1.9 Strömungstechnische Eigenschaften - Strömungsgeschwindigkeit - Durchfluss

Einzelne Anlagekomponenten basieren auf der freien Konvektion (beispielsweise Schichtspeicher, Trafokühlung mit Luft, usw). Für hohe Wärmetransportleistungen wird hauptsächlich mit erzwungener Konvektion gearbeitet. Die Wärmeauskopplung ist im letzteren Fall problemloser.

Bei abrasiven Stoffen muss der Querschnitt derart gewählt werden, dass keine zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, um den Materialabtrag in Grenzen zu halten.

Der Durchfluss sollte gross genug sein und genügend rückgewinnbare Wärme für einen praktischen Einsatz liefern. Wärmetauscher werden für spezifische Durchflussbereiche ausgelegt. Massgebend für die nutzbare Wärme ist das Produkt aus erzielbarer Temperaturdifferenz und Durchfluss. Es ist zu prüfen, ob verschiedene Quellen im WRG/AWN-System zusammengeführt werden können, um genügend hohe Durchflüsse und Temperaturen zu erreichen. Die mittlere Temperatur stellt sich dann aufgrund des Mischungsgesetzes ein.

5.1.10 Druck

Abhängig von der Druckbeanspruchung muss die geeignete Wärmetauscherbauform gewählt werden. In Prozesstechnik-Anlagen sind oft höhere Drücke als in Raumluftechnik-Anlagen vorhanden. Eine Folge davon sind höhere Differenzdrücke zwischen Fortluft und Zuluft, es ergeben sich damit höhere Anforderungen an Dichtheit und Stabilität.

5.1.11 Feuchte

Der Feuchtigkeitsgehalt im Abwärmeluftstrom muss abgeschätzt werden. Die Kondensationswärme kann beim Unterschreiten des Taupunkts im Wärmetauscher genutzt werden. Allerdings sind eventuelle Korrosionsgefahren vorhanden. Diese Problematik wird ausführlicher bei der stofflichen Zusammensetzung behandelt.

5.1.12 Stoffwerte des Wärmeträgers

Weichen die physikalischen Eigenschaften des Wärmeträgers wesentlich von Wasser, bzw. Luft, ab, so kann eventuell nicht mehr auf Standardkomponenten zurückgegriffen werden, sodass mit höheren Investitionskosten gerechnet werden muss. Für unübliche Wärmeträger sind die Stoffwerte einzutragen.

Ein aussergewöhnlicher Wärmeträger darf nicht unbesehen eingesetzt werden. Die Dichte des Fluids wirkt sich auf das Gewicht des Apparates aus. Die spezifische Wärmekapazität beeinflusst den Wärmetransport, ein tiefer Wert verlangt entsprechend grössere Temperaturdifferenzen oder höhere Durchflüsse zur Erreichung der Wärmemenge mit dem Referenzwert. Die Viskosität bestimmt die Pumpenleistung, hochviskose Stoffe brauchen mehr Pumpenenergie. Die Oberflächenspannung ist wichtig bei der Beurteilung von Abdichtungsproblemen, Stoffe mit tiefer Oberflächenspannung verlangen grosse Sorgfalt bei der Abdichtung von Rohrleitungen.

5.1.13 Stoffliche Zusammensetzung und Eigenschaften

Die Kenntnis der Zusammensetzung eines Wärmeträgers ist hinsichtlich Korrosion und Verschmutzung in Kanälen, Rohrleitungen und Wärmetauschern von grosser Bedeutung. Oft scheitert eine Realisierung von WRG/AWN-Anlagen an den stofflichen Randbedingungen.

Im allgemeinen Fall liegen keine reinen Stoffe, sondern Stoffgemische, vor. Problemlos sind meistens homogene, disperse oder rauchförmige Stoffgemische. Probleme treten erst bei Partikeln im Wärmeträger auf, die abrasiv oder verschmutzend wirken.

Chemisch inerte Stoffe sind ideal. Sobald sie in korrosiver, brennbarer oder explosiver Form vorliegen müssen die entsprechenden Vorsichtsmassnahmen ergriffen werden. Bei umweltbelastenden Stoffen ist ein Entweichen aus dem System zu unterbinden.

Toxische oder mit Krankheitserregern verschmutzte Stoffe dürfen unter keinen Umständen in den Aufenthaltsbereich von Lebewesen und in die Umwelt gelangen.

Die Eigenschaften der Wärmetauschermaterialien müssen auf die stoffliche Zusammensetzung des Wärmeträgers, der Zu- bzw Abluft abgestimmt sein, damit keine schnelle Zerstörung durch Korrosion auftreten kann. So müssen aufgrund der aktuellen Situation Aluminium, Stahl, Edelstahllegierungen, Glas oder Kunststoff als Konstruktionsmaterialien gewählt werden, um gegen spezifische Medienangriffe resistent zu sein. Diese Sonderausführungen sind mit höheren Kosten verbunden, die die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen.

Zur Beurteilung der Korrosionsbelastung sind die nachstehenden Betrachtungen, die mit spezifischer Erfahrung und durch Versuche unterstützt sein müssen, wichtig.

Feuchtigkeit, die überall in einer Anlage auftreten und im abgekühlten Gasstrom als Kondensat ausfallen kann, ist immer eine potentielle Gefahrenquelle, der mit einer geeigneten Konstruktion des Wärmetauschers Rechnung getragen werden muss. Organische Dämpfe kondensieren ebenfalls beim Abkühlen.

* Der Aggregatzustand des Stoffes ist entscheidend für dessen Aggressivität. So kann ein Kondensat, das bei Abkühlung anfällt, andere Korrosionseigenschaften aufweisen als die Gasphase.

* Bei einer Zusammensetzung aus verschiedenen Gasen kann bei der Kondensatbildung durch zusätzliche chemische Reaktion eine aggressive Flüssigkeit entstehen (z.B. Säure).

Besteht die Gefahr, dass Kondensation in der WRG/AWN-Anlage auftreten kann, so sollten Taupunktmessungen an Ein- und Auslass durchgeführt werden. Häufig sind Feuchtigkeit und Kondensat sauer, weil säurebildende Gase vorhanden sind, die gelöst Schwefel-, Salpeter- oder Salzsäure bilden. Die eingesetzten Konstruktionsmaterialien müssen gegen diese Stoffe beständig sein.

Klarheit verschafft eine Kondensatprobe in einem Eisbad, die dem Gasstrom am Auslass entnommen und anschließend auf den Säurewert (pH) und die Zusammensetzung getestet wird.

Das Korrosionsproblem kann möglicherweise abgeschwächt werden durch das Mischen verschiedener Medien, die eine Verdünnung der Schadstoffkonzentration bewirken. Zu vermeiden ist das Mischen von Strömungen, die eine Vergrößerung des Korrosionsrisikos ergeben.

In prozesstechnischen Anlagen ist die Abluft häufig mit Stoffen beladen, die zu Verschmutzungen in den Wärmetauschern führen können. Der Reinigungsaufwand, umfassend die Möglichkeiten Wärmetauscher-Reinigung, Filterersatz, Filterwechsel, muss in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einfließen. Es kann grob in die folgenden Situationen unterteilt werden:

- * Trockene Stäube sind in vielen Fällen problemlos. Zur Reinigung genügt oft Abwischen, Absaugen oder Ausblasen.
- * Düninflüssiges Kondensat gehört zu den gut handhabbaren Stoffen. Es kann selbst Reinigungszwecke durch eine Spülwirkung erfüllen, sofern Kondensatablassstutzen an den richtigen Stellen angebracht werden. Durch die Querschnittverengung des Kondensats kann der Druckabfall merkbar ansteigen. Kondensation im Wärmetauscher erhöht den Temperaturwirkungsgrad.
- * Klebriges, dickflüssiges Kondensat verlangt in jedem Falle genaue Abklärungen. Erfahrungen mit dem Stoff und dessen Beseitigung müssen vorliegen, eventuell sind Versuche vorzusehen. Leicht demontierbare Wärmetauscher oder ein gut durchzuführendes Waschverfahren müssen zur Verfügung stehen. Die Lösungsmittel sind bezüglich ihrer Korrosionseigenschaften auf das Wärmetauscher-Material abzustimmen.
- * Durch Filterung der dem Wärmetauscher zugeführten Luft ist oft eine Abhilfe möglich.
- * Fasern und Flusen in der Abluft sind problematisch. Auch hier kann eine Vorfilterung das Problem lösen.

Feststoffpartikel können Material abtragen oder WRG/AWN-Apparate verstopfen. Harte Feststoffpartikel können Bogen, Ventilatoren, Pumpe und jede Fläche an den Stellen abschleifen, wo eine Strömungsumlenkung stattfindet.

Teilchen, die sich ansammeln, können zu Verstopfungen in den verschiedensten Anlagenteilen führen. Dies gilt vor allem für Fäden, Flaum, Textilfasern, klebrige Stoffe oder nasse Stäube bzw. nasses Pulver. Letztere Partikel sind schwierig zu behandeln, wenn sie trocknen, weil sie dann feste Ablagerungen bilden, die nur noch spanabhebend entfernt werden können.

Während der Betriebsaufnahme sollten Tests mit verschiedenen Reinigungsmitteln durchgeführt werden, um das beste Reinigungsverfahren für die auftretenden Ablagerungen zu finden. Die meisten Reinigungsmittelhersteller liefern Muster zu Testzwecken. Das Reinigungsmittel wird in Waschapparaten, die mit der WRG geliefert werden, für die WRG-Filterreinigung angewendet. Selbstklebende Verbindungen wie Epoxy-Harze und Farbstoffe können nicht durch einfaches Waschen entfernt werden. Dann sollten Wegwerf-Filter eingesetzt werden, um Verstopfung der WRG zu vermeiden. In Fällen, wo ein Filter-Ersatz zu teuer kommt, muss dann von einer Anwendung der WRG Abstand genommen werden.

In Küchenabzügen treten gewöhnlich Fettrückstände auf. Sie sammeln sich an auf den Ventilatoren, in den Kanälen und im Wärmetauscher. Die Reinigungsverfahren sind bekannt, Fettrückstände werden im Sprühwasch-Verfahren entfernt.

Bei der WRG/AWN-Betriebsaufnahme muss das Augenmerk speziell auf Korrosions- oder Verschmutzungsgefährdung gerichtet werden. Kanäle, Rohrleitungen und Apparate, die rostige Flächen, Löcher in Leitungs/Kanalwänden, Flecken oder Verfärbungen und abgetragene Stellen aufweisen, sind Gefahrenzeichen für Korrosion, Kondensation oder das Vorhandensein von abrasiven Teilchen.

Jede Ansammlung von Material auf Leitungsinenseiten muss sorgfältig untersucht werden, da dieselben Ablagerungen im WRG/AWN-Apparat auftreten und dessen Leistungsfähigkeit herabsetzen können.

Korrosion und Verschmutzung durch Schadstoffe in den Wärmeträgern können zu frühzeitiger Ausserbetriebsetzung von WRG/AWN-Anlagen führen, deshalb sind Schadstoffe bei der Betriebsaufnahme zu notieren.

5.1.14 Anschlüsse

Leitungs- und Kanalabmessungen sind bestimmend für den Anschluss- und Installationsaufwand von WRG/AWN-Apparaten.

Durchmesser, Höhe, Ausrichtung, Form und andere Eigenschaften von Ein- und Auslass sind auf dem Übersichtsplan einzutragen. Diese Angaben sind auch bei allfälligen Messungen nützlich.

5.1.15 Anlagelebensdauer

Die Anlagelebensdauer wird in "Anfang", es liegt eine Neuanlage vor, in "Mitte" und in "Ende" eingeteilt. Bei 'Ende' ist mit einer baldigen Sanierung oder gar einem Ersatz zu rechnen. Quelle wie Senke sollten die gleiche Situation aufweisen, damit die getroffene Lösung Bestand hat. Eventuell wird aufgrund des Anlagenalters auf eine aufwendige Lösung verzichtet.

5.1.16 Aufstellung

Wenn eine Technikzentrale vorhanden ist, ergeben sich unter Umständen kurze Distanzen. Bei dezentraler Aufstellung der verschiedenen Anlagen muss im allgemeinen mit höherem Transportaufwand gerechnet werden.

5.1.17 Besonderes

Die spezifischen Gegebenheiten (Vorschriften, Risiken, Zusammenhang mit weiteren Prozessen, usw) müssen bei der jeweils aktuellen Lösung berücksichtigt werden. Ebenfalls sind Überlegungen hinsichtlich Verbesserung des Prozesses mittels Wärmerückgewinnung anzustellen.

Unter dieser Rubrik sind auch erhöhte Sicherheitsanforderungen einzutragen. Müssen solche Massnahmen ergriffen werden, so ist mit höheren Investitionen zu rechnen.

5.1.18 Beurteilung

Die Beurteilung einer Quelle setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. Einerseits ergibt die mögliche Abwärmemenge einen Hinweis auf die Wirtschaftlichkeit der Nutzung der Quelle. Andererseits sind die Randbedingungen ebensowichtig. Ergibt die Summe in den drei letzten Spalten ein Schwergewicht in der problematischen Spalte, so ist der ganze Einsatz in Frage gestellt. Hohe Abwärmemenge und gleichzeitig wenig Probleme prädestiniert eine WRG/AWN-Anwendung. Schon ein einzelner Eintrag in der letzten Spalte kann die WRG/AWN-Anwendung in Frage stellen, sobald er ein technisch schwieriges Problem darstellt (Siehe dazu das Beispiel im Kap. 5.2).

5.2 Vernetzungsparameter

Ein WRG/AWN-System besteht im allgemeinen Fall aus drei Hauptkomponenten, nämlich der (Ab)wärmequelle, der Senke als Wärme-Abnehmer und dem Wärme übertragenden Element in Wärmetauscher-/ Wärmepumpen-Form. Die Vernetzungsparameter erlauben eine Grobauswahl der optimalsten Quellen-Senken-Paare. Die Abstimmung von Quellen und Senken in einem WRG/AWN-System erfordert die Betrachtung der vorherrschenden Randbedingungen und muss für verschiedene Annahmen durchgedacht werden. Die Wahl eines geeigneten WRG-Apparates hängt von den Eigenschaften des Quellen-Senken-Paares ab und kann erst erfolgen, wenn die Verknüpfungen von Quellen und Senken festgelegt sind.

5.2.1 Temperaturdifferenz

Die Abwärmeströme sollten derart mit den Senken verbunden werden, dass ein möglichst grosser Anteil des zur Verfügung stehenden Abwärmepotentials genutzt wird. Bei den Überlegungen sollte immer auch die Mehrfachnutzung eines Abwärmestromes durch das Hintereinanderschalten von Verbrauchern mit sinkendem Temperaturbedarf in Betracht gezogen werden.

Eine exergiegerechte Nutzung der Abwärme ist in Bild 11 dargestellt.

Temperatur	Bevorzugte Anwendung
T > 500°C	Antrieb/Verstromen
T > 100°C	Heizen/Dampf direkt mit Wärmetauscher
T > 30°C	Raumwärme direkt mit Wärmetauscher, mit Wärmepumpe kann 50°C erreicht werden
T > 20°C	Wärmepumpen-Einsatz
T > 0°C	Wärmetauscher für Kühlzwecke/ Wärmepumpen-Einsatz

Bild 11: Temperaturniveau und allgemeine Energie-Anwendungen

Je grösser die Temperaturdifferenz ist, desto lohnender ist eine Wärmetauscheranwendung. Bei sehr grossen positiven Werten sind Verfahren mit guter Exergieausnutzung reinen Niedertemperaturanwendungen vorzuziehen. Die Anforderungen an den Wärmetauscher werden höher, je kleiner die Temperaturdifferenzen ausfallen. Hohe Massenströme und kleine Temperaturdifferenzen sind Indikatoren für eher unwirtschaftliche Lösungen.

Liegt die Quellentemperatur unter der Senkentemperatur, so ist die Nutzung der Wärme mittels Wärmepumpe abzuklären. Bei grossen Energiemengen und kleiner notwendiger Temperaturdifferenz über der Wärmepumpe sind wirtschaftlich vertretbare Lösungen möglich. Je höher das mittlere Temperaturniveau liegt, desto effizienter ist die Wärmepumpe (Unter der Voraussetzung, dass die geeignete Technologie zur Verfügung steht). Zu grosse negative Temperaturdifferenzen sind nicht lohnend.

In Bild 12 sind Beispiele von Wärmequellen und Wärmesenken, ideal nach dem Temperaturkriterium geordnet. In der Praxis wird man selten ideale Quellen-Senkenpaare vorfinden, so wird beispielsweise mit industrieller Abwärme oft nur Wasser für sanitäre Zwecke erwärmt.

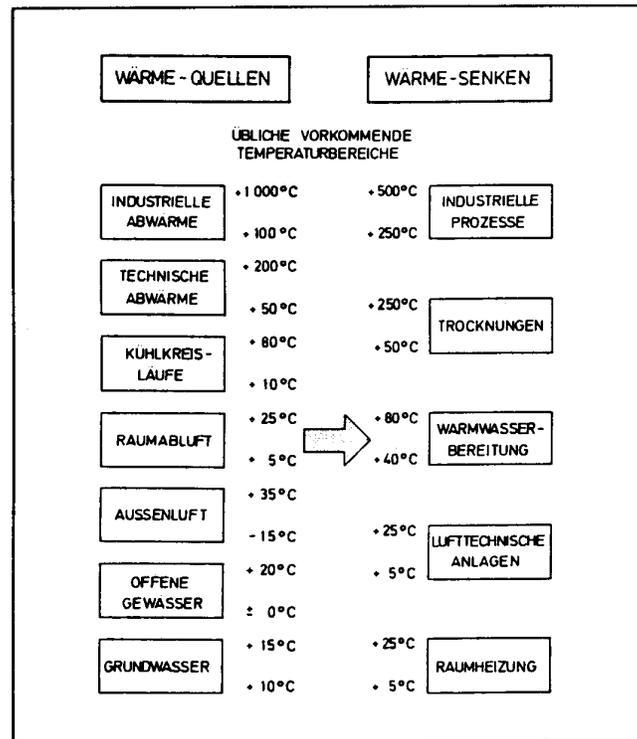


Bild 12: Kriterien zur Bewertung der Abwärme bzw. der verfügbaren Wärmequellen

5.2.2 Energieangebot/Energiebedarf

Je grösser das Energieangebot einer Quelle ist, desto lohnender ist die Nutzung. Das nutzbare Angebot ergibt sich aus den Anforderungen der Senke. Ziel muss eine möglichst exergiegerechte Nutzung der Energie sein. Nebst dem mengenmässigen Wert muss auch die zeitliche Übereinstimmung gegeben sein.

Der Wärmebedarf ist meist bekannt, das Wärmeangebot muss eventuell abgeschätzt werden. Ein Wert 1 deutet auf ein Überangebot hin, dann muss eine Nutzung der Quelle mit einer weiteren Senke oder eventuell mit einer Kunstlast in Betracht gezogen werden. Damit eine problemlose Nutzung möglich ist, muss das Verhältnis der mittleren Leistung über ein charakteristisches Zeitintervall ebenfalls 1 sein. Ist das Verhältnis 1, so muss die Teildeckung untersucht werden. Teildeckung ist bei absolut grossen Energiemengen ebenfalls interessant, bei absolut kleinen Mengen aber unter Umständen eine fragwürdige Angelegenheit.

Lastmanagement und Energiemanagement können hohe Ansprüche an die Mess- und Regeltechnik stellen. Überschusswärme muss z.B. über Kühltürme abgeführt werden. Differenzen zwischen Angebot und Nachfrage sollten erkannt und mit Speicherstrategien ausgeglichen werden.

Bei der Ist-Zustand-Analyse (Betriebsaufnahme) ist ein Energieflussdiagramm sehr empfehlenswert. Abhängig von der Problemstellung ist ein geeigneter Zeitraum für die Energiebilanz zu wählen. So kann es erforderlich sein, den Sommer-, den Winterbetrieb oder andere Betriebsphasen gesondert darzustellen.

5.2.3 Leistungsspitze Angebot/ Nachfrage

Liegen Verbraucher und Quelle auch leistungsmässig nahe beieinander, so ist eine Anpassung bei zeitlicher Übereinstimmung problemlos. Abhängig vom betrachteten Problem ist die Leistung als mittlere Energie in

einem entsprechend gewählten Zeitintervall zu interpretieren. Um hohe Leistungsspitzen abzufangen, sind oft Speicher notwendig.

Die notwendige Speicherkapazität (Speichergösse) hängt von der Menge der zwischenspeichernden Energie ab. Die zeitlichen Abstände der Leistungsmaxima zwischen Quellen und Senken bestimmen die Anforderungen an die Wärmedämmung der einzusetzenden Speicher. Je grösser der Abstand, desto mehr Wärmedämmwand muss getrieben werden. Kurzzeitspeicherung im Bereich von Stunden und Tagen lässt sich mit konventioneller Technologie beherrschen. Langzeitspeicherung über Wochen und Monate ist aufwendig, und nur in Sonderfällen gerechtfertigt (grosse Energiemengen, preisgünstige grosse Speichervolumen). Anstelle der Langzeitspeicher kann in diesen Fällen eine rationelle Nutzung durch eine geeignete Betriebsstrategie der Anlage erzielt werden (z.B. optimierter Betrieb in der Übergangszeit).

Die Lage der Angebots-Nachfrage-Maxima dient nur als grober Indikator. So kann beispielsweise ein periodisch längerdauerndes Überangebot das Speicherproblem entschärfen. Für detaillierte Untersuchungen muss der zeitliche Verlauf von Angebot und Nachfrage aufgenommen werden.

5.2.4 Betriebszyklus und Betriebszeit

Abwärmeeinfall der Quelle und Wärmebedarf eines Verbrauchers haben jeweils einen prozesscharakteristischen Lastgang. Je besser Angebot und Nachfrage zeitlich und mengenmässig übereinstimmen, desto wirtschaftlicher wird WRG/AWN. Ideal für die Abwärmennutzung ist ein synchroner Verlauf beider Prozesse; daher ist die prozessinterne Wärmerückgewinnung den anderen Anwendungen meist überlegen, weil die örtliche Lage von Bedarf und Anfall übereinstimmt.

Bei der Betriebsaufnahme sollten die Betriebszeiten von Quellen und Senken und die zugehörigen Randbedingungen aufgezeichnet werden, damit die maximal mögliche Übereinstimmung von Quellen/Senkenpaaren bestimmt werden können. Die Werte sollten als Tagesgang im Stundenraster, als Wochengang im Tagesraster und als Jahregang im Wochenraster aufgezeichnet werden. Liegt in allen Betrachtungsintervallen eine gute Übereinstimmung vor, so ist die WRG/AWN ohne Frage angebracht.

Zur Überbrückung von zeitlichen Unterschieden zwischen Abwärmeeinfall und Wärmebedarf können Speicher eingesetzt werden; dies erfordert jedoch zusätzliche Investitionen, erhöhten Steuer- und Regelaufwand und ist mit zusätzlichen Verlusten verbunden. Liegt nur eine Langzeitübereinstimmung vor, so muss mit einem Kurzzeitspeicher überbrückt werden. Gibt es nur eine Kurzzeitübereinstimmung, so sind Strategien zu entwickeln, wie und in welchem Zeitraum die Wärme genutzt werden kann. Es sind eventuell weitere Verbraucher zu suchen. Die Menge der Zwischenspeicherenergie bestimmt die Speichergösse. Mit dem Speicher kann auch eine Leistungsanpassung erfolgen: kurze hohe Quellenleistung kann in gleichmässige tiefere Wärmeabgabe transformiert werden; umgekehrt kann mit einer sanften Speicherladung kurzfristig eine schwache Quelle stark belastet werden. Je nach Verwendungszweck muss der Speicher auf die entsprechende Aufgabe ausgelegt werden. Grundsätzlich sind aus Wirtschaftlichkeitsgründen Anwendungen ohne Speicher solchen mit Speichern vorzuziehen. Nur ist oft eine Wärmenutzung ohne Zwischenspeicherung nicht möglich.

Der Betriebszyklus bezieht sich auch auf die wechselnden Betriebsbedingungen während der Betriebszeit. Brenner können im Falle des Zweistufenbrenners mit hohem oder kleinem Brennstoffdurchsatz betrieben werden. Chargen-Öfen und Trockner beginnen mit tiefen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit in der Startphase und hören auf mit hoher Temperatur und tiefer Feuchtigkeit. Der Verbrauch der Gebäudekühlung erreicht eine Spitze bei maximaler Belegung und vermindert sich in Zeiten schwacher Belegung. Betriebszyklusdaten sind notwendig zur Festlegung von Spitzen-, Mittel- und Minimalwerten der Quellen- und Senkenbetriebsbedingungen. Wärme(rück)gewinn und Kosteneinsparungen werden aus den mittleren Betriebsbedingungen errechnet, die sich wiederum aus den Betriebszykluswerten ergeben. Spitzenwerte und Minimalwerte werden gebraucht für die Wahl der WRG/AWN-Systeme, Komponenten, Steuerungen und Konstruktionsmaterialien, Extremalbedingungen können die Auslegung und die Leistungsfähigkeit des WRG/AWN-Systems beeinflussen.

Die jährliche Betriebszeit soll so gross wie möglich sein, um die grössten jährlichen Einsparungen sicherzustellen.

5.2.5 Distanz Quelle - Senke

Die Nutzung von Abwärme beruht auf dem Transport eines Wärmeträgermediums. Dabei handelt es sich um eine sehr aufwendige Art der Energieübertragung verglichen mit dem Transport von Brennstoffen oder Strom. Für wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten dürfen daher die Wärmetransportleitungen bestimmte maximale Entfernungen nicht überschreiten.

Der Abstand zwischen dem Quellen-Senken-Paar sollte minimal gehalten werden. Ausgedehnte Rohrleitungs- und Kanalnetze sind teuer, verlieren Wärme und müssen unterhalten werden. Müssen mehrere hundert Meter überbrückt werden, so wird die Wärme bevorzugt in Rohrleitungen übertragen. Die Wärmedämmung von Rohrleitungen, verglichen mit Kanälen, ist billiger, der Unterhalt einfacher und die Montagekosten sind tiefer. Die maximale praktische Ausdehnung in einem Projekt hängt von den Kosteneinsparungen ab, und muss für jedes WRG/AWN-System individuell bestimmt werden.

Während der Betriebsaufnahme sind Quellen und Senken massstäblich auf einem Plan der Liegenschaft, mit allen Hindernissen und baulichen Details, einzutragen. Eingezeichnete Abstände zwischen Quellen-Senken-Paaren erleichtern die Wahl bezüglich geringstem Verrohrungsaufwand und erlauben eine Abschätzung der Rohrleitungs- bzw. Kanalkosten. Aus der Lage von Hindernisse lassen sich allfällig spezielle Leitungsführungen zur Überwindung ersehen.

Die baulichen Details sind für die Tragfähigkeit und die Zugänglichkeit wichtig. Konstruktionsmässige Eigenschaften beinhalten Eisenbetonwände, niedere Decken, elektrische Kanäle und Rohrleitungen in einem überfüllten Raumgebiet (überladen), Dachträger, Abmessungen von Zutrittsstüren usw. Die Angaben dienen der Wahl der Apparategrösse.

5.2.6 Übereinstimmung der Anlagenlebensdauer

Anlagen zur Energielieferung als auch Energieabnehmer sollten im gleichen Lebensalter stehen. Zeigt eine Abschätzung der Entwicklung, dass eine Abwärmequelle beispielsweise in naher Zukunft ausser Betrieb genommen wird, so ist diese Gegebenheit gebührend zu berücksichtigen. Speziell bei Nutzung durch Dritte muss die Verfügbarkeit von Abwärme langfristig gesichert sein.

5.2.7 Stofftrennung

In prozesstechnischen Anlagen ist die Abluft Transportmedium für Wärme und Stoffe (Feuchtigkeit beim Trocknen, Schadstoffe bei Reinigungsprozessen, Stäube bei Reinigungsprozessen, usw.). Die Stoffe sollte beim Wärmeaustausch nicht wieder in die Zuluft gelangen. In dieser Hinsicht kann der Rotationswärmetauscher problematisch sein, beim Trennflächenwärmetauscher muss die Dichtigkeit bei den auftretenden Drücken gewährleistet sein. Grundsätzlich sollte ein Druckgefälle von der Aussenluft auf die Fortluft bestehen.

Ähnliche Überlegungen gelten für die Unterbindung der Verfrachtung von Krankheitserregern von der Abluft in die Zuluft. Die Problematik ist in Spitälern und biologischen Labors vor allem von Interesse.

Treten im Wärmeträger giftige oder umweltgefährdende Stoffe auf, so wird der Kreislauf mit Vorteil geschlossen ausgeführt. Die Nutzung derart kontaminierter Wärmeträger bzw. Quellen stellt hohe Anforderungen an die eingesetzte Technik und ist, wenn überhaupt, nur bei grossen Wärmemengen wirtschaftlich.

5.2.8 Weitere bauliche Randbedingungen

Die Wahl eines Quellen-Senken-Paars hängt ebenfalls von der gegenseitigen physikalischen Anordnung ab. Jede Türe oder Höheneinschränkung hat einen Einfluss auf die maximale Grösse der Apparate und die Zugänglichkeit. Passende elektrische Versorgungsanschlüsse sollten vorhanden sein. Schliesslich sollten ein bequemer Zugang für Wartungs- und Servicearbeiten, Plattformen, Arbeitsplätze zur Demontage der Wärmetauscher, Raum für Krane, Winden usw gegeben sein.

Die Bedingungen bezüglich Tragstruktur, Kanäle, Rohrleitungen und Apparaten sind wichtig zur Abschätzung der WRG/AWN-Systemkosten. Teile die ersetzt, verstärkt oder repariert werden müssen, müssen ebenfalls in der Übersicht eingetragen werden.

Der Platz in alten Anlagen ist in den meisten Fällen ausserordentlich beschränkt, so dass nur Komponenten mit sehr kleinen Abmessungen eingesetzt werden können. Hohe Leistungsdichte, das heisst auf das Volumen oder auf die Grundfläche bezogene Leistung, zeichnet Apparate und Maschinen aus, die sich in solchen Fällen besonders gut verwenden lassen.

Ein geringeres Gewicht und Volumen der Komponenten ist auch bei Neuanlagen von Vorteil. Sie können dann unter Umständen in vorhandene nicht mehr genutzte Gebäude eingebaut werden oder die Baukosten für Fundamente und Umfassungsmauern lassen sich wesentlich senken.

Vor allem bei Komponenten, die in bestehender Prozessanlagen zusätzlich eingebaut werden, spielen ihr Gewicht und ihre Abmessungen eine wichtige Rolle. Nur selten lassen sich vorhandene Fundamente verstärken oder erweitern; sie müssen daher die Lasten der neu zu installierenden Apparate und Maschinen mit aufnehmen. Die zulässigen zusätzlichen statischen und dynamischen Beanspruchungen erlauben es dann oft nur, sehr leichte und erschütterungsfrei zu betreibende Aggregate einzubauen.

5.3 Messmethoden in WRG/AWN-Anlagen

Gründe für Messungen in WRG/AWN-Anlagen sind:

- Erfassung des Istzustandes (Checkliste!);
- Erfassung der Wirkung von Massnahmen (Erfolgskontrolle);
- Analyse von einzelnen Aspekten;
- Einregulierung der Anlage;
- optimaler Betrieb, permanente Überwachung mit Gebäudeleitsystem;
- usw.

Gemessen werden energierelevante und betriebstechnische Grössen bzw. das Verbraucherverhalten:

- Energie (Wärme, Elektrizität, Brennstoffverbrauch);
- Leistung (Wärme, Elektrizität, Brennstoffdurchsatz);
- Temperaturen;
- Durchflüsse (Flüssigkeiten, Gase);
- rel. Feuchte;
- Druck;
- Einschalt-, Betriebszeiten, Statussignale;
- Anzahl Schaltspiele;

Für Einzelmessungen werden oft fliegende Messaufbauten verwendet, während die Messstellen bei Einsatz eines Gebäudeleitsystems permanent in der Anlage bleiben. Hilfreich für sporadische Messungen ist das Vorsehen von vorbereiteten Messstellen, die mit wenigen Handgriffen mit Sensoren bestückt werden können.

Da Energiemessungen aufwendig sind, werden in der Praxis nur wenige Grössen in Form von Sammelmessungen (z.B. Wärmemenge bei der Hauptstation, Elektrizität an der Haupteinspeisung) erfasst.

Nun können aber Energieflüsse nur mit Hilfe von Messungen erfasst werden. So trivial dies klingt, so häufig wird es nicht beachtet. Oft begnügt man sich damit, auf der Basis von "üblichen" Wirkungsgraden, branchenspezifischen Kennzahlen, Nenndaten und ähnlichem Abwärmenutzungskonzepte auszuarbeiten und vorzuschlagen. Mit diesen Basisdaten aber steht und fällt der Erfolg eines Konzepts. Können keine exakten Messungen durchgeführt werden, so müssen die Ausgangsdaten mindestens auf einer Minimalbasis erhoben werden.

Exakte Messungen umfassen die Energiemessungen in den interessierenden Energieströmen. Als Messmittel werden hauptsächlich gebraucht:

- Elektrische Energiezähler
- Wärmemengenmesser (Temperaturdifferenz, Durchfluss)
- Brennstoffverbrauch (Gaszähler, Ölzähler, Waage)
- Betriebsstundenzähler

Aus der Energiebilanz können dann weiter Energieflüsse berechnet werden. Vollständige Messungen enthalten auch die Erfassung der Randbedingungen.

Der nachträgliche Einbau der Messmittel für die exakten Messungen ist normalerweise sehr aufwendig. Bei der Minimalbasis wird mit minimalem Messmittelaufwand gearbeitet. Durch das Abschätzen der Anschlusswerte und der Annahme konstanter Durchflüsse und konstanter Temperaturdifferenzen werden über Betriebsstundenzahlen Energien ermittelt:

- Betriebsstundenzähler
- Abschätzung Anschlusswert [Leistungsschild]
- Abschätzung Temperaturdifferenz [Anlegethermometer]
- Abschätzung Durchfluss [Ultraschall-Durchflussmesser]
- Abschätzung Brennstoffverbrauch [Vorratsabnahme]

Die Abschätzungen werden mit Vorteil mit einfach durchzuführenden Einzelmessungen (oben in angeführt) verifiziert. In vielen Fällen ist die erzielbare Genauigkeit für erste Konzeptabschätzungen genügend.

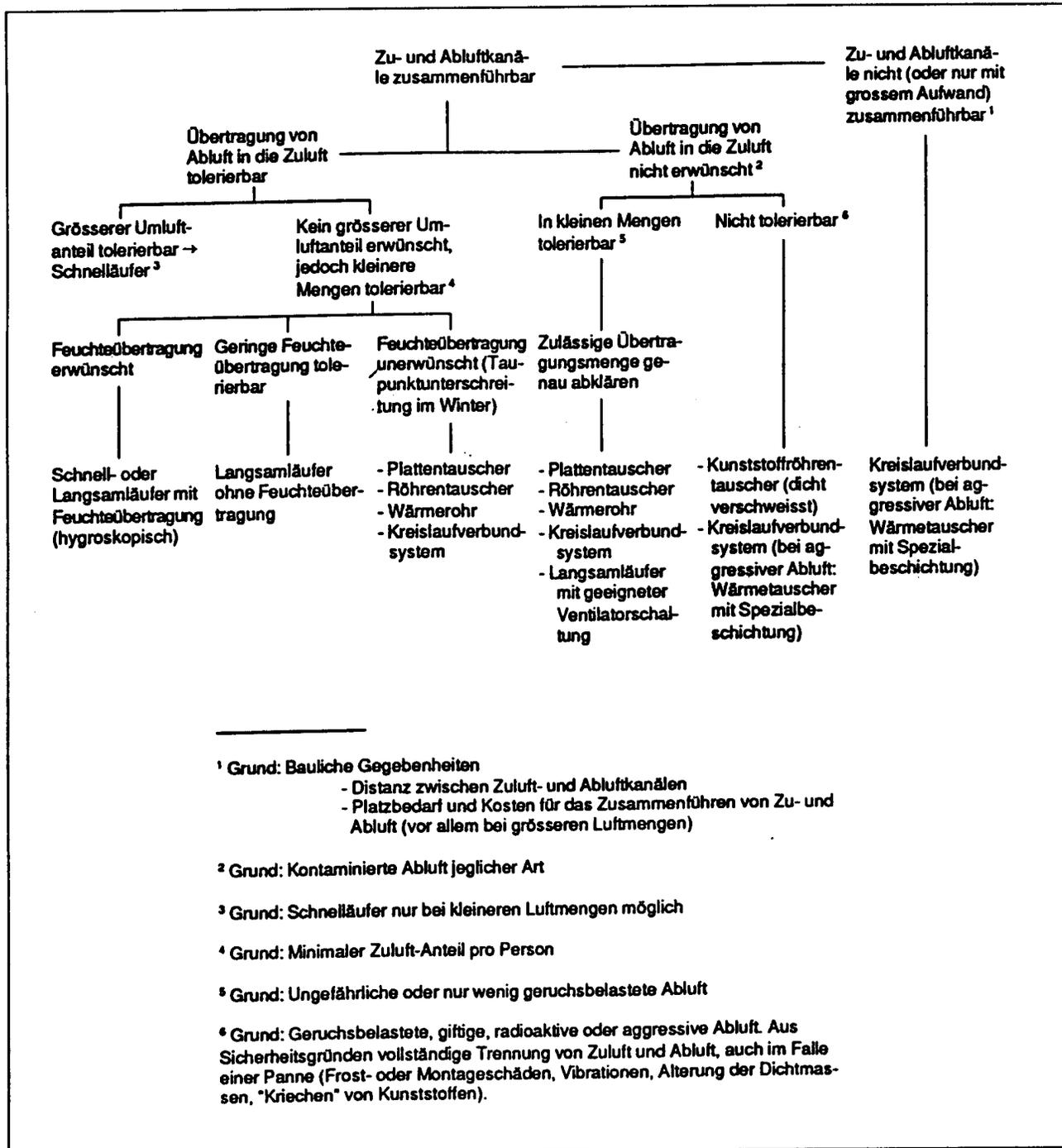


Bild 13: Kriterien für die Grobauswahl eines WRG/AWN-Systems für Gase.

6. Lösungsfindung

Aus dem mehrfachen Vergleich der einzelnen Quellen und Senken mit den vorher aufgestellten Methoden kann eine mögliche Konfiguration erarbeitet werden. Bevor eine Lösungs idee weiter verfolgt wird, ist es von grossem Vorteil, wenn man die ins Auge gefasste Lösung zuerst in Form eines Energieflussdiagramms aufzeichnet (siehe beispielsweise Bild 14). Die Vernetzung von energietechnischen Anlagen kann damit vorerst losgelöst von der apparatetechnischen Realisierung aufgestellt werden.

Anhand der Führung des Energieflusses werden viele Fragen aufgeworfen, deren Beantwortungen Meilensteine auf dem Weg zur Lösung bilden. Der übersichtlichen Darstellung wegen kann das Energieflussdiagramm ein nützliches Hilfsmittel zur Vermeidung grober Fehler sein.

Die Abschätzung der verschiedenen Wärmemengen kann aus den Durchflussraten, Temperaturen und den Stoffwerten einerseits und aus Betriebsdaten und Nutzungsgraden andererseits erfolgen. Zeigen diese Berechnungen, dass im untersuchten Quellen-Senkenpaar nur ein geringer Anteil der Abwärme genutzt wird, oder dass die Abwärmemenge weit unter dem Bedarf der Senke bleibt, dann muss ein anderes Quellen-Senkenpaar gesucht werden. Im ersten Fall entsteht viel ungenutzte Abwärme, wenn keine weiteren Abnehmer gefunden werden. Im zweiten Fall muss eine andere Quelle gesucht werden oder ein mehrfaches Einspeisen aus verschiedenen Quellen, bis die notwendige Wärme aufgebracht werden kann.

Das oben beschriebene Verfahren ist allgemeingültig anwendbar. Es erfordert ein Denken in abstrakten Begriffen. Erst nach den Energieflussüberlegungen wird auf die apparative Seite des Problems eingegangen.

Weniger abstrakt, dafür auch weniger allgemeingültig sind Vorgehensschemata für einzelne technische Disziplinen. So gibt es ein bewährtes Vorgehensschema für lufttechnische Anlagen (Bild 13). Für die WRG/AWN in lufttechnischen Anlagen existieren Standardlösungen. Mit wenigen zusätzlichen Randbedingungen (Distanz, Stofftrennung), ähnlich wie sie in den Checklisten formuliert sind, wird aufgrund eines Entscheidungsbaums eine apparative Lösung identifiziert. Solche relativ einfache Lösungsschemata lassen sich nicht für jede technische Disziplin aufstellen. Dort, wo sie aber vorhanden sind, sollten sie genutzt werden.

6.1 Realisiert: Transformator-Abwärmenutzung

Transformatoren arbeiten nicht verlustfrei, so gehen bei modernen Typen bis ca 0.5% der übertragenen Leistung in Form von Wärme weg. Bei einem 40 MVA-Trafo betragen die lastunabhängigen Eisenverluste 15 17 kW. Die lastabhängigen Kupferverluste beziffern sich auf 96 kW bei 100%-Auslastung, um auf 24 kW bei 50% zu sinken. Das Trafoöl weist eine Temperatur bis 55°C auf. Der Transformator ist nicht wärmege-dämmt, die Verlustwärme wird mit freier bzw. erzwungener Konvektion abgeführt.

In den Räumlichkeiten des Unterwerks soll eine Temperatur von 15°C bis 18°C eingehalten werden. Der Wärmebedarf der zu beheizenden Räume beträgt im Mittel 15 kW. Die Nutzung der Trafoabwärme zur Raumheizung des Unterwerks ist in diesem Fall eine attraktive Möglichkeit und dient als zusätzliche Trafo-kühlung. Die Auskoppelung der Heizwärme aus dem Trafo erfolgt über einen Wärmetauscher, der primärseitig in einem Trafoölkreislauf liegt und sekundärseitig in den Heizkreislauf geschlauft ist. Aus Sicherheitsgründen (Anlagen- und Personenschutz) muss zwingend ein Doppelrohrwärmetauscher eingesetzt werden. Der Versorgungssicherheit und zur Überbrückung im Revisionsfall dient ein elektrischer 30 kW-Durchlauferhitzer, der nur wenige jährliche Betriebsstunden aufweisen sollte. Die Anlage wird realisiert, da Abwärme mit einem einfachen Konzept ohne grossen Eingriff genutzt werden kann. Im Energieflussdiagramm in Bild 14 sind die Verhältnisse bei etwa halber mittlerer Trafoauslastung dargestellt.

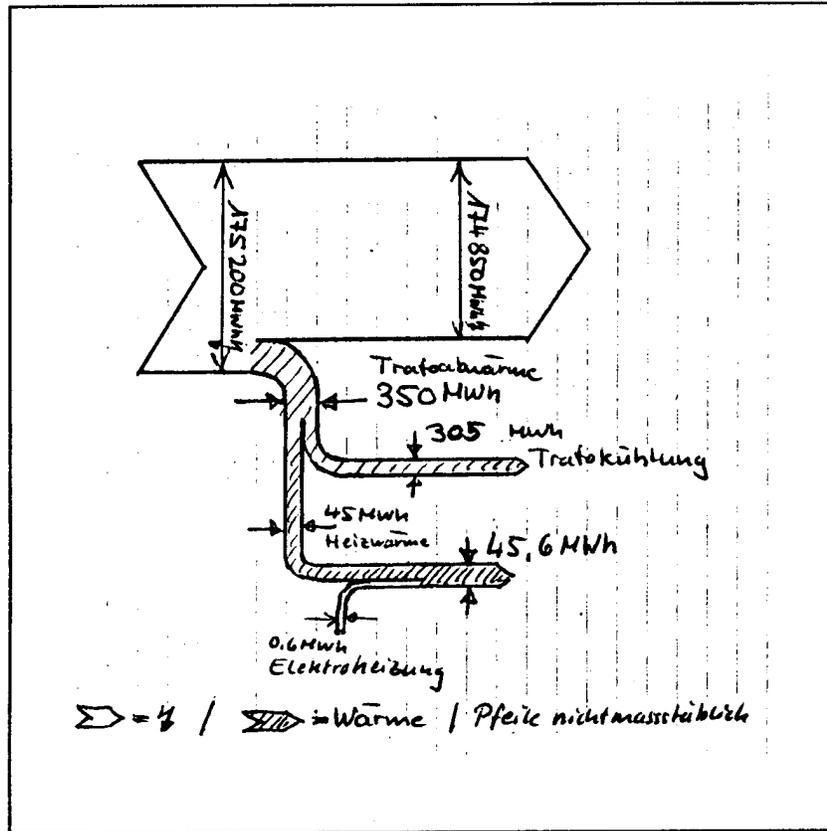


Bild 14: Energieflussdiagramm Trafoabwärme für Heizzwecke

6.2 Nicht realisiert: Einbrennlackierofen

Im Hinblick auf WRG/AWN-Massnahmen wurde in einer Büromöbelfabrik eine Betriebsaufnahme durchgeführt. Speziell wurde die Möglichkeit einer WRG/AWN in einem grossen Einbrennlackierofen geprüft. Im Ofen wird die Heissluft mit einem Gasbrenner im Ofenzentrum erzeugt. Die austretende Luft wird an den Austrittsöffnungen abgesaugt. Die Anwendung erschien günstig für WRG/AWN, da der Ofen kontinuierlich betrieben wird, hohe Temperaturen und Durchsätze vorliegen, und sich der Verrohrungsaufwand in Grenzen zu halten schien. Während der Betriebsaufnahme wurden die Wandflächen und Austrittszonen untersucht. Dabei wurde ein aus-gehärteter Auftrag von Farbe und Farbräger beobachtet, der sich nur mit dem Messer entfernen liess. Der WRG/AWN-Lieferant hatte keine Erfahrung mit der Farbfentfernung in seinem Apparat, er war aber zur Rücknahme des Apparates bereit, falls das Reinigungssystem nicht zufriedenstellend arbeiten würde. Weil sich das Reinigungssystem nicht auszahlte (hoher Verrohrungsaufwand), und weil der Lieferant nicht genügend Erfahrung mit diesem System vorweisen konnte, wurde auf die WRG verzichtet. Entscheidend für den Verzicht auf eine WRG/AWN-Lösung in diesem Falle waren die Schwierigkeiten mit dem Wärmeträger. In der Checkliste genügt dieser eine Punkt zur Verwerfung des Projekts. Die einzelnen Positionen in den Spalten dürfen nicht einfach zusammengezählt werden, sondern es sind vor allem die einzelnen Positionen in der Spalte genau zu kontrollieren und abzuwägen.

7. Literatur

- [1] Infoenergie; Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe; Infoenergie Brugg, 1988.
- [2] G.Kruck; Erfassung des Wärmeeinfalls und des Wärmebedarfs in der Industrie; Wärmerückgewinnung und Abwärmeverwertung durch Elektrowärmepumpen in Gewerbe und Industrie, Wärmepumpentechnologie Band VIII; Vulkan-Verlag Essen, 1982.
- [3] A.Dickopp; Erfassung des Wärmeeinfalls und -bedarfs im Gewerbe; Wärmerückgewinnung und Abwärmeverwertung durch Elektrowärmepumpen in Gewerbe und Industrie, Wärmepumpentechnologie Band VIII; Vulkan-Verlag Essen, 1982.
- [4] H.H. Ingwersen, Hrsg.; Handbuch der Mehrfachnutzung industrieller Prozesswärme; Resch-Vedag; Gräffelfing, 1986.
- [5] M.G.Kiss; Energiekonzepte in der Bauplanung, Band 1; Bauvedag GmbH Wiesbaden und Bedin, 1983.
- [6] M.G.Kiss, H.J.Leimer, H.P.Mahon; Energiesparen JETZT!, 2.Aufl.; Bauverlag GmbH Wiesbaden und Bedin, 1980.
- [7] S.Reiter; Industrial and Commercial Heat Recovery Systems; Van Nostrand Reinhold Company; New York, 1983.
- [8] A.Mützenberg; Abwärmenutzung in Betrieben, Wegleitung; Amt für Wasser- und Energiewirtschaft (AWE) des Kantons St.Gallen; 1983.

Neu ab Mai 1992

Das RAVEL-Handbuch Strom rationell nutzen

**Umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden
zur rationellen Verwendung von Elektrizität**

Das RAVEL-Handbuch ist die zur Zeit aktuellste und umfassendste Zusammenfassung des verfügbaren Wissens über den intelligenten Einsatz von Strom in praktisch allen Anwendungsbereichen. Über 40 Autoren zeigen in diesem Nachschlagewerk auf, wo und wie Strom intelligent genutzt werden kann. Die Erkenntnisse, Anregungen und Empfehlungen sind übersichtlich nach den einzelnen Anwendungsbereichen geordnet. Wer Strom rationell einsetzen will, findet klare Antworten auf Fragen wie: Was ist zu berücksichtigen bei der Planung oder Nutzung eines Gebäudes, einer Maschine, einer Installation usw.? Wo liegen die Stromsparpotentiale? Welche Lösungen gibt es bereits? Das RAVEL-Handbuch enthält eine Fülle von Checklisten, mit denen neue stromsparende Lösungen einfacher und sicherer geplant oder bestehende Lösungen auf ihre Stromverbrauchs-Intelligenz beurteilt werden können. Seine Vielseitigkeit erleichtert eine vernetzte Zusammenarbeit der einzelnen Berufsdisziplinen in den Bereichen Gestaltung, Planung, Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Nutzung, Investitionsbeurteilung und Energieberatung.

Umfang ca. 300 Seiten, zahlreiche Tabellen und grafische Darstellungen, Format 16 x 24 cm, gebunden, ca. Fr. 75.—

ISBN 3-7281-1880-3

Ab Mitte Mai im Buchhandel
Vorbestellungen sind möglich beim
vdf, Verlag der Fachvereine, ETH,
8092 Zürich, Fax 01 252 34 03

Die Impulsprogramme des Bundesamtes für Konjunkturfragen

Impulsprogramme sind auf 6 Jahre befristete Massnahmen zur Vermittlung von neuem Wissen in die berufliche Praxis. Ansatzpunkte sind zielgruppengerechte Information, Aus- und Weiterbildung. Die Vorbereitung und Durchführung erfolgt in enger Kooperation von Wirtschaft, Bildungsinstitutionen und Bund.

Die drei Impulsprogramme 1990–1995



IP BAU

IP BAU – Erhaltung und Erneuerung

Im Baubereich zeichnet sich ein grosser Erneuerungsdruck ab, der sich in den kommenden Jahren noch verstärken wird. Sollen die Funktionsfähigkeit des Baubestandes im Hoch- und Tiefbau und die Zukunftstauglichkeit der Siedlungsstrukturen weiterhin gewährleistet bleiben, sind erhöhte Anstrengungen zur Erneuerung erforderlich. Es geht um die Erhaltung bedeutender volkswirtschaftlicher Werte. Voraussetzung bilden entsprechende technische und planerische Kenntnisse sowie Rahmenbedingungen. Beides fehlt heute weitgehend. Das IP Bau vermittelt hier wesentliche Anstösse.



RAVEL

RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität

Forschungs- und Untersuchungsprojekte des Impulsprogrammes RAVEL über den Stromverbrauch in Industrie, Dienstleistung und Haushalt zeigen: Elektrische Energie wird heute oft nicht oder zu wenig intelligent genutzt. D. h. dieselbe Leistung könnte mit einem Bruchteil des bisherigen Stromverbrauches erzielt werden und das wirtschaftlich, ohne Komforteinbusse. Zudem werden mit Strom zum Teil Leistungen erzeugt, für die sich kein Bedürfnis nachweisen lässt. Wird der heute nicht intelligent genutzte Strom frei, erhält unsere Volkswirtschaft neue Spielräume. Damit diese Chance genutzt werden kann, müssen die RAVEL-Erkenntnisse in der Praxis wirksam werden. Dazu werden sie von Fachleuten in sofort anwendbares, praxisgerechtes Wissen aufgearbeitet und in Weiterbildungskursen, Informationsveranstaltungen und Publikationen an die Praxis vermittelt.



PACER

PACER – Erneuerbare Energien

Der mögliche Beitrag der erneuerbaren Energien zur Deckung des Energiebedarfs wird von Experten als nicht vernachlässigbar beurteilt. Zurzeit ist er allerdings noch bescheiden. Gegenstand bilden ausgereifte Techniken nahe der betriebswirtschaftlichen Wirtschaftlichkeitsschwelle, wie passive und aktive Sonnenenergienutzung für Wärmeerzeugung, Biomasse, solare Stromerzeugung. Es werden insbesondere Planungshilfen für Architekten, Ingenieure und Installateure sowie Entscheidungsgrundlagen für Bauherren vermittelt. Zu letzteren gehört auch ein Beurteilungssystem für Energiekonzepte und -anlagen unter Berücksichtigung der Umweltkosten, das in Zusammenarbeit mit Vertretern der verschiedenen Energieträger erarbeitet werden soll.