

Fachartikel 2004

Prof. Dr. Dr. h.c.* Herbert Eichele (Hrsg.)
* Staatsuniversität Tomsk Russland (TUSUR)

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg

Inhaltsverzeichnis

Strategy for intelligent Internal Combustion engine with homogeneous combustion in cylinder Prof. Dr.-Ing. Miroslaw Weclas	S. 5
Prozessansatz zur Formulierung von Beschaffungs- und Materialfeldstrategien Basiskonzept und Forschungsleitfragen Prof. Dr. Gerhard Heß	S. 19
Ein modulares physikalisches Modell zur Simulation von Kälteanlagen Prof. Dr. Risto Ciconkov, Prof. Dr.-Ing. Arnd Hilligweg	S. 87

Strategy for intelligent Internal Combustion engine with homogeneous combustion in cylinder

Prof. Dr.-Ing. Mirosław Weclas

Institut für Fahrzeugtechnik (IFZN)
Fachbereich Maschinenbau
der Georg-Simon-Ohm Fachhochschule Nürnberg

Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg

miroslaw.weclas@fh-nuernberg.de

Abstract

In this report the author proposes strategy for development of intelligent combustion systems with a goal to approach a near-zero emission internal combustion engine operating in a wide range of speeds and loads. Main requirement for future I.C. engine is to develop a system permitting homogeneous combustion process (minimum of engine emissions) under all operational conditions. The author suggests, that none existing individual combustion system may satisfy these conditions. However, combination of different individual combustion modes in a one system may permit homogeneous combustion in a wider range of loads. Such combination of individual systems having potential for a homogeneous combustion and operating in different ranges of engine loads is here defined as an intelligent engine. In order to make this strategy practicable a new concept for mixture formation (MDI-Mixture Direct Injection) and homogeneous combustion based on the Porous Medium (PM)- technology is proposed in this paper. This is probably first publication indicating possibility of developing of intelligent combustion systems in engines. This paper concentrates on MDI system that may adopt an actual combustion mode realizing in engine (i.e. ignition and combustion conditions) to actual engine operational conditions

1. Introduction

Two characteristic parameters will be required for future internal combustion (I.C) engine: near-zero emissions level and as low as possible fuel consumption. These parameters strongly depend on the mixture formation and combustion process which are difficult to be controlled (under different engine operational conditions) in a conventional engine combustion system. Especially important are air flow structure, fuel injection conditions, turbulence as well as ignition conditions. The art of mixture formation, art of ignition and combustion realized in conventional direct injection (DI) engines indicate a lack of mechanisms for homogenization of the combustion process, as shown in Figure 1. The homogenization of combustion process, however, is necessary for radical reduction of engine emissions directly in a primary combustion process keeping very low specific fuel consumption. The question remaining still unresolved is the method for realization of homogeneous combustion in IC engine, especially if variable engine operational conditions (load and speed) are considered.

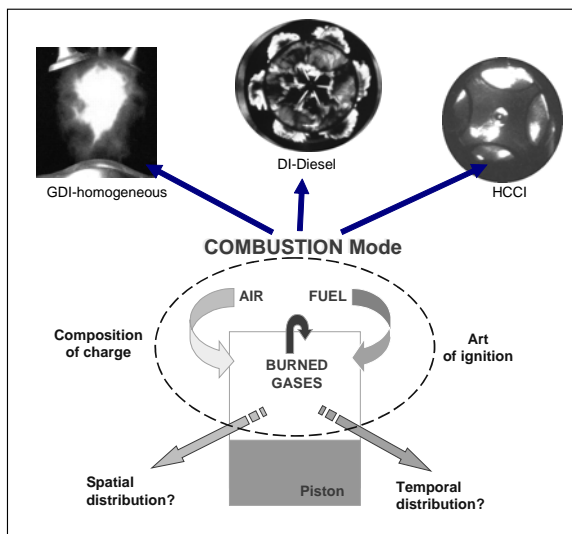


Figure 1: Basic processes of engine cycle

The author would like to indicate in this paper which physical processes limit the existing combustion concepts and how could existing problems be resolved by applying of new technologies. The goal of the paper is also to indicate that new concepts for mixture formation and combustion processes realized in IC engines are necessary for achieving a homogeneous combustion leading to significant reduction of engine emissions in a wide range of engine operational conditions. In this paper the author proposes new concepts for homogeneous combus-

tion systems based on the porous medium (PM) technology.

In section 2, required conditions for future engine are discussed. Main requirements are near zero-combustion emission level in a wide range of engine operational conditions and possible high engine cycle efficiency. Necessary conditions for a homogeneous combustion process are defined in section 3 and particular role of the art of ignition on the combustion mode is also indicated. Different modes of homogeneous charge combustion according to the ignition method are discussed in this section. Characterization of conventional concepts for homogeneous combustion in engines is given in section 4 indicating three main practical limitations of existing systems: control of ignition timing, control of heat release rate and extension to higher engine loads.

Section 5 describes a new concept for mixture formation using a porous medium technology with possible application to conventional systems (GDI¹, HCCI and to radical combustion RC). It is also shown in this section, that a combination of different combustion modes in the same engine (i.e. multi-mode combustion system), could permit homogeneous combustion conditions under variable engine load and speed, This combination of different combustion modes in one engine is called as an intelligent engine concept.

2. Main requirements for future engine

Basic requirements for future clean internal combustion (I.C.) engine concern very low (near-zero) exhaust emissions level for both gaseous and particulate matter components under as low as possible fuel consumption. Internal combustion engine (especially for road vehicle applications) has to operate in a wide range of speeds and loads and should satisfy selected requirements under all operational conditions. For vehicle application, the following conditions are required for future engine:

Operation with a homogeneous (nearly) stoichiometric charge for high power density (full load operational conditions).

Operation with a homogeneous-lean charge for low specific fuel consumption (part load operational conditions).

¹⁾ GDI-Gasoline Direct Injection; HCCI-Homogeneous Charge Compression Ignition; RC-Radical Combustion.

Realization of homogeneous combustion², for all mixture compositions for the lowest combustion emissions.

For significant reduction of specific fuel consumption and for a near-zero combustion emissions especially attractive would be realization of engine operating with a lean-homogeneous charge at part loads, assuming that the combustion process is homogeneous (see section 3). For vehicle application, additional factors such as a high power density, good dynamic properties, low combustion noise and a high durability of the engine have to be considered.

In the author opinion, further development of after-treatment systems may help but will not probably be able to resolve the problem of engine emissions, especially for emissions regulations beyond 2008 including CO₂ reduction to the level of 120/140g/km. Here, significant reduction of raw emissions from the primary combustion process will be necessary. EUCAR (European Council for Automotive R&D) suggests, that in the future the exhaust emissions will be reduced so far, that there will be no need for further emission legislation [5]. For the actual legislation, for gasoline engines, NO_x and HC have been reduced by 40% for Euro 3 and by 70% for Euro 4. CO has been reduced by 30% and 70%, respectively. For small Diesel engines, particles has been reduced by 40% for Euro 3 and by 70% for Euro 4. NO_x and HC have been reduced by 12% for Euro 3 and by 56% for Euro 4. CO has been reduced by 40% and 50%, respectively. For large Diesels, particles has been reduced by 30% for Euro 3 and by 80% for Euro 4/5. NO_x has been reduced by 30% for Euro 3, by 50% for Euro 4 and by 70% for Euro 5.

In the case of fuel consumption, also vehicle contributes to the overall level of emissions (Fig.2).

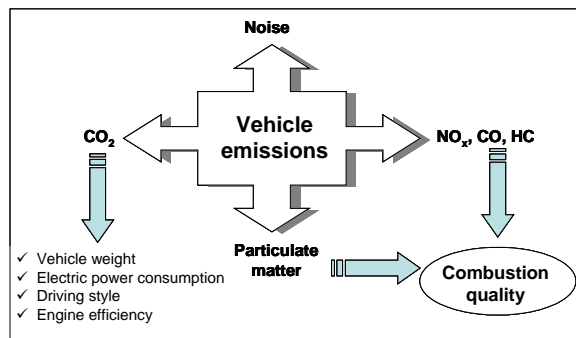


Figure 2: Vehicle emissions structure

Most important are here vehicle weight, electric power consumption on board, aerodynamics and

² For definition see section 3.

driving style. For example, reduction of vehicle weight in a 100kg gives reduction of fuel consumption on order of 0,5l/100km. 1kW electric power consumption on the board requires approximately 1,5l/100km additional fuel consumption.

3. Definition and characterization of homogeneous combustion process

Let's start this analysis from the definition of the conditions for the homogeneous combustion process in IC engine. The homogeneous combustion is here defined as a process in which a 3D-ignition (volumetric) of the homogeneous (premixed) charge is followed by simultaneous (no flame front) heat release in the whole combustion chamber volume characterized by a homogenous temperature field (see Fig. 3).

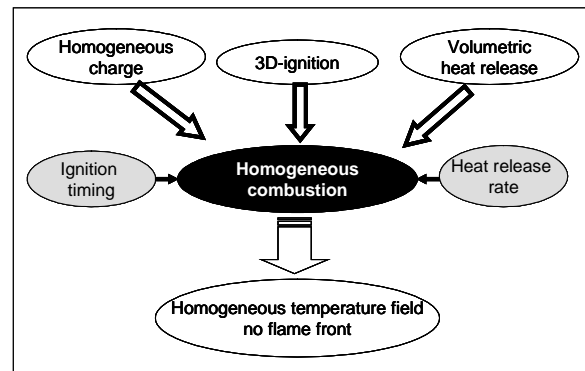


Figure 3: Definition of homogeneous combustion process

According to this definition a three steps of the mixture formation and combustion may be selected that define the ability of a given realistic engine to operate as a homogeneous combustion system:

- 1 -degree of charge homogenisation (with a goal to get a homogeneous, premixed, gaseous charge);
- 2 -art of ignition (goal is to realize a volumetric ignition);
- 3 -homogeneity of combustion process and its temperature field (represented by simultaneous heat release in combustion chamber volume).

There are several additional aspects that have to be considered for analysis of particular homogeneous combustion system. First of all, considered is the question related to the combustion temperature, especially for close to stoichiometric charge compositions. It would be necessary to lower the combustion temperature from the adiabatic level in order to permit nearly zero NO_x emissions for these mixture compositions. Another aspect concerns range of available engine loads; especially higher engine loads are critical for this kind of combustion. Addi-

tional requirement concerns correct mixture formation and combustion processes in a wide range of engine speed (time scale).

There are two principal requirements given to the combustion system that are necessary for satisfying the homogeneous combustion conditions:

Controlling of the ignition timing under variable engine operational conditions,
Controlling of the heat release rate for different mixture compositions.

Additionally, for low combustion emissions it is necessary that the liquid fuel is completely vaporized prior the ignition occurs. The author wants to underline, that the homogeneity of the charge is not sufficient for realization of homogeneous combustion in engine; the volumetric ignition play here a critical role.

There are four basic arts of ignition that may be realized in I.C. engine (Fig.4):

Local ignition (e.g. spark plug)

Compression ignition

Controlled-auto-ignition (chemical ignition)

3D-thermal-PM-ignition (thermal ignition in a porous medium volume) [1-2]

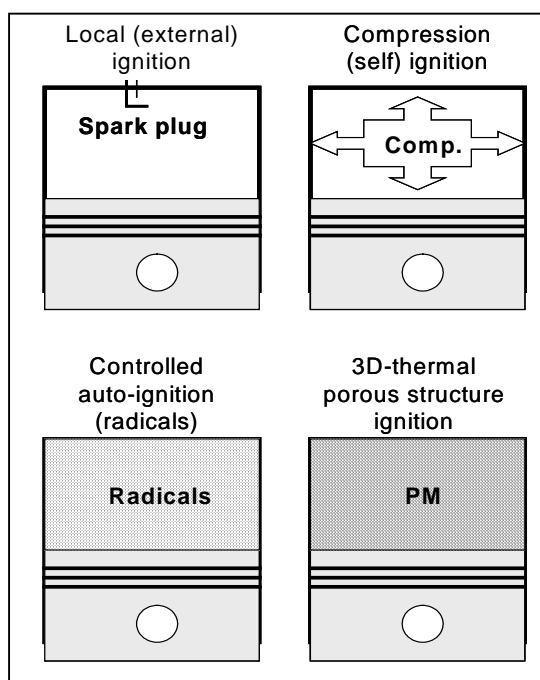


Figure 4: Characteristic arts of ignition in I.C. engines

The last three selected systems have potential for realization of volumetric ignition in engine. Thus, the art of resulting combustion depends on the mixture homogeneity and ignition mode.

In the case of local ignition, even if homogeneous and premixed charge is applied, we cannot satisfy the requirements of the ignition defined for a homogeneous combustion. In this case a flame kernel will be followed by the flame front propagating throughout the combustion chamber. The resulting combustion process is not homogeneous.

In the case of compression ignition applied to a strongly non-homogeneous and heterogeneous charge (see Diesel engine) a multi-point ignition can be achieved. The resulting combustion process is highly non-homogeneous and diffusion (mixing) controlled. If in the same system a homogeneous charge is applied, a nearly volumetric ignition would be possible (HCCI system). Such a process (if volumetric) would lead to very high pressure gradients in the cylinder depending on the mixture composition and thermodynamic parameters of the cylinder charge. Control of the ignition timing and following heat release rate are the most critical factors limiting practicability of the conventional concepts of HCCI systems.

4. Characterization of conventional concepts for homogeneous combustion in engines

Available technologies for supporting engine processes and for reducing of engine emissions in conventional DI Diesel are selected in Figure 5.

HCCI system, as compared to conventional DI Diesel engine, has substantially lower emissions of particulate matter (soot) and NO_x . In practical realizations known from the literature, these low emissions are result of highly diluted homogeneous mixture in addition to low combustion temperatures of lean charges. In practical realizations, the charge in HCCI engine is made diluted by being very lean, by stratification or by using exhaust gas recirculation. The lack of flame propagation in HCCI system allows higher dilution levels that can be applied to the engine. Very important benefit of HCCI system, besides potential for very low emissions and high cycle efficiency, is its fuel tolerance. However, there are number of challenges which presently limit applicability of conventional concepts for a homogeneous combustion in engines. High HC and CO emissions, high NO_x emissions for more close to stoichiometry charge compositions and cold start conditions remain still to be unresolved.

However, the following three problems are main limiting factors to make conventional HCCI concept practicable:

Control of ignition timing under variable engine load.
 Control of heat release rate under variable engine load.
 Availability of higher engine loads.

The control of above selected parameters in HCCI combustion system would be possible by controlling the following parameters:

- compression temperature history,
- cylinder pressure,
- mixture structure and its composition,
- charge heat capacity,
- charge chemical activity (ignitability).

The first required factor for properly operating HCCI engine is controlling of the ignition timing under variable engine operational conditions and for different mixture compositions. HCCI ignition process (in volume!) is determined by the charge composition (air-to-fuel ratio), charge homogeneity (or local non-homogeneity), charge ignitability, cylinder charge temperature and pressure, art of fuel and its properties. It would be necessary for future HCCI system to control the temperature history of the cylinder charge, charge ignitability and TDC compression temperature for different charge compositions, engine speeds and loads. This control becomes even more critical during rapid transients of the engine.

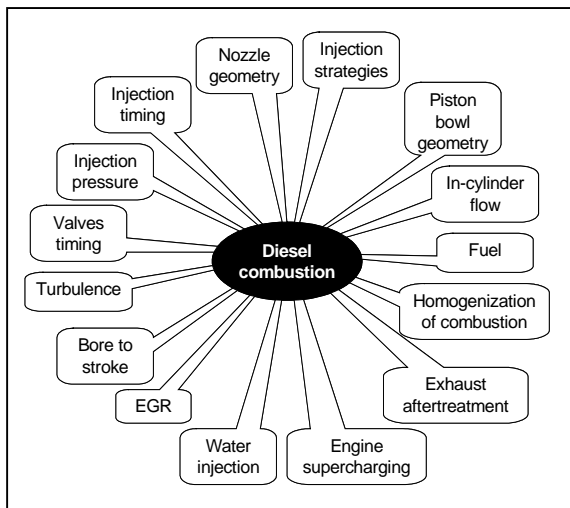


Figure 5: Main technologies available for optimization of DI Diesel combustion system

Presently, the researchers are trying to get control on the ignition timing by applying of hot EGR, by variable compression ratio, variable valve timing, by variable fuel injection timing and by heating of intake air. In the last case, three different ranges of the

combustion process may be selected according to the inlet air temperature [6]:

- Knocking at nearly-stoichiometric charge compositions and higher inlet air temperatures
- Moderate and stable combustion for leaner charges and higher than 423K inlet air temperatures
- Misfire or unstable combustion at lower inlet air temperatures and lean charges.

As suggested in [6], the hot EGR has a similar effect on the ignition timing to inlet air preheating. Combustion in HCCI system depends on the chemical kinetics of low- and high-temperature oxidation processes. Actual cylinder temperature deals as an accelerator for switching from low-temperature oxidation to a high-temperature oxidation process. As shown in [10] the increasing cylinder pressure breaks this transition. According to [4] there are three characteristic combustion regimes in operation of HCCI system (see Fig.6):

- Misfire at low compression ratios in the whole range of mixture compositions
- Low temperature oxidation at moderate compression ratios for lean to very lean mixture compositions (without transition to a high temperature process)
- High temperature oxidation (complete combustion) at proper thermodynamic conditions.

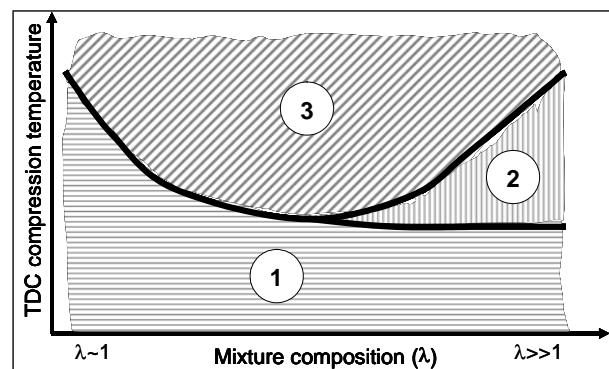


Figure 6: Characteristic combustion modes of HCCI engine (based on the data from [4]); 1-misfire, 2-low temperature oxidation, 3-stable combustion.

Heat release rate in HCCI system becomes critical at high loads and more stoichiometric charge compositions. One possible solution, which presently is considered, is a dual-mode (or hybrid) engine operation. This means, that the engine operates e.g. as HCCI system at light loads and as a conventional Diesel engine at higher loads.

This, however, limits the potential of HCCI system for reducing the engine emissions. Another possibility is to use a controlled stratification of the

charge composition or stratification of the temperature field to reduce the combustion rate. However, the local combustion quality may significantly be reduced (emissions).

For more practicability of HCCI concepts, it is necessary to extend the available engine operational conditions to higher engine loads. This factor is strictly related to both above discussed problems: controlling of ignition timing and controlling of heat release rate. At higher loads, the heat release rate may be very high (very rapid combustion process occurs) generating unacceptable high combustion noise and cylinder pressures. Additionally, possible high NO_x emissions depending on the actual mixture composition (A/F ratio) may be expected at high engine loads if the combustion temperature is high – see Fig.7.

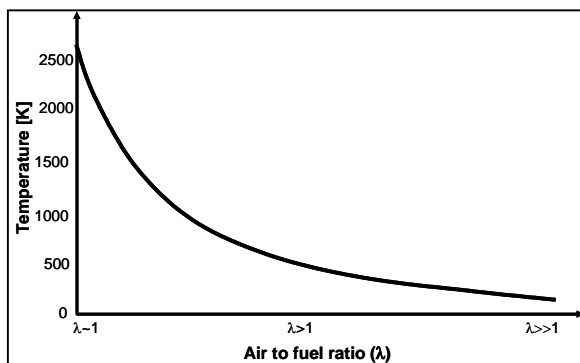


Figure 7: Qualitative distribution of combustion temperature vs mixture composition

The actual techniques used for extending the load range of the HCCI systems are: partial stratification (non-homogeneity) of the charge, temperature field stratification, and application of different fuels.

5. Definition of intelligent engine combustion system

A future engine operating with a homogeneous combustion process in a wide range of engine speeds and loads and having good transient response will require satisfaction of the following conditions (at least combination of them):

Variable temperature history during the compression stroke

- Variable TDC compression temperature
- Completely vaporized fuel prior the ignition process
- Variable mixture composition (A/F ratio)
- Variable reactivity (ignitability) of the charge
- Homogeneous and premixed charge prior ignition
- Variable charge heat capacity

- Fuel supply and fuel vaporization conditions independent of the engine load
- Volumetric ignition conditions

The engine combustion system which allows adoption of its in-cylinder thermodynamic conditions to actual operational conditions for permitting homogeneous combustion is defined as an *intelligent engine*. Especially important is adoption of these parameters to get controllable ignition (different modes are possible) and controllable heat release rate.

In the author opinion, in order to satisfy above selected conditions, it is necessary to develop new concepts for mixture preparation in engine with a goal to achieve a controllable homogeneous combustion process. One approach, proposed by the author, is presented in the next section.

6. New concept of mixture preparation for homogeneous combustion in engines using porous medium technology

Different R&D activities of the author using porous materials (highly porous 3D-structures) (see LSTM at University of Erlangen-Nürnberg and Promeos GmbH in Erlangen) indicated unique features of this technology for mixture formation and combustion processes, also as applied to IC engines.

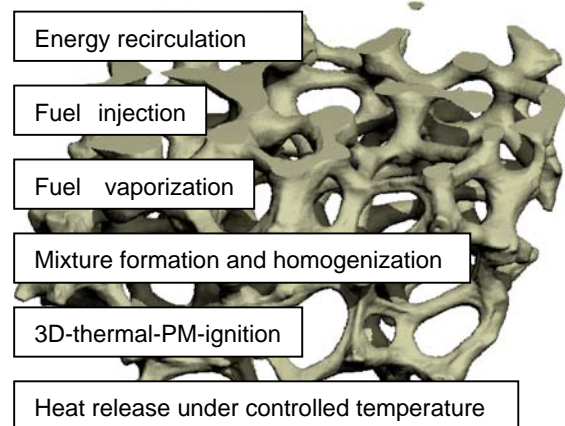


Figure 8: Most important engine processes that may be supported by the PM-technology

Porous medium (PM) technology is here defined as an utilization of specific and unique features of a highly porous medium as applied to individual processes of mixture formation, ignition and combustion realized in engine [7,8]. The most important features of a highly porous media are: large specific surface area, high porosity, high heat capacity, excellent heat transfer properties (especially heat ra-

diation), variability of structure, pore density and pore geometry, high thermal and mechanical stability.

The following engine processes may be supported by the porous medium (see Fig.8):

Energy recirculation in engine cycle in the form of hot burned gases recirculation or combustion energy: this may significantly influence thermodynamic properties of the charge in the cylinder and may control its ignitability (activity). This energy recirculation may be performed under different pressures and temperatures during the engine cycle. Additionally, this heat recuperation may be used for controlling the combustion temperature level (Fig.9).

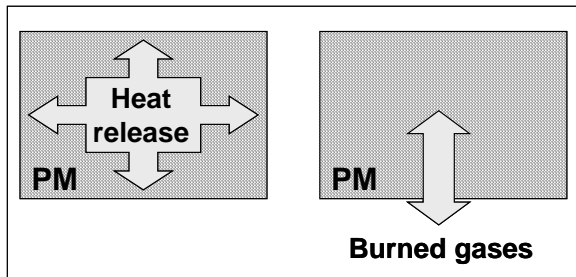


Figure 9: Heat accumulation and recirculation in porous medium

Fuel injection in PM-volume: especially unique features of liquid jet distribution and homogenization throughout the PM-volume (effect of self-homogenization) [9] is very attractive for fast mixture formation and its homogenization in the PM-volume (Fig.10 and 11).

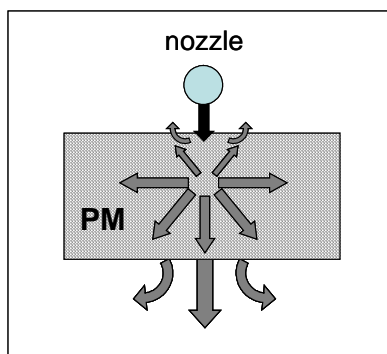


Figure 10: Diesel jet distribution in PM-volume

Fuel vaporization in PM-volume: combination of large heat capacity of the PM-material, large specific surface area with excellent heat transfer in PM-volume make the liquid fuel vaporization very fast and complete. Here two different conditions of the process have to be considered: vaporization with

presence and without presence of combustion air (e.g. also “cool-flame” and “blue-flame” reactions).

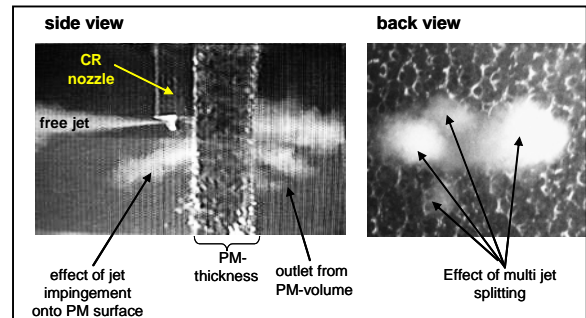


Figure 11: Diesel jet distribution in PM-volume (acc. to the author [9])

Mixing and homogenization in PM-volume: unique features of the flow properties inside 3D-structures allow very effective mixing and homogenization in PM-volume.

3D-thermal-PM-ignition (if PM temperature is at least equal to ignition temperature under certain thermodynamic properties and mixture composition): there is a new kind of ignition, especially effective if the PM-volume creates the combustion chamber volume [1].

Heat release in PM-volume under controlled combustion temperature (properties of homogeneous combustion): this is only one known to the author kind of combustion, that permits homogeneous combustion conditions almost independently of the engine load with possibility of controlling the combustion temperature level [1,2] – see Fig.12.

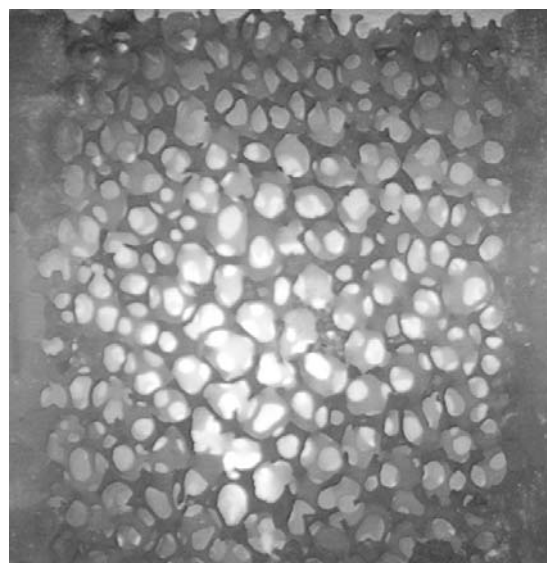


Figure 12: Glowing PM-reactor ($T_{PM} \sim 1200^{\circ}C$)

There are two new concepts that utilize a porous medium technology for permitting the homogenous combustion under variable engine operational conditions:

Mixture preparation system that may change its combustion mode according to actual engine operational conditions to keep homogenous combustion conditions, so-called *intelligent (multi-mode) combustion system* to be a matter of this paper (see Fig.13).

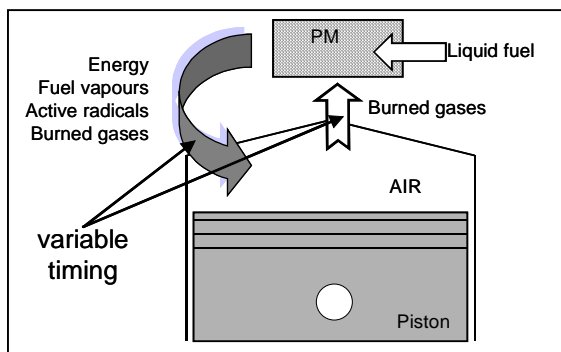


Figure 13: Principle of a multi-mode intelligent engine based on the MDI concept

System that may operate independently of the engine operational conditions permitting homogeneous combustion conditions from very light to full loads, so-called *mono-mode combustion system* – PM-engine concept proposed by Durst and Weclas [1,2] (Fig.14).

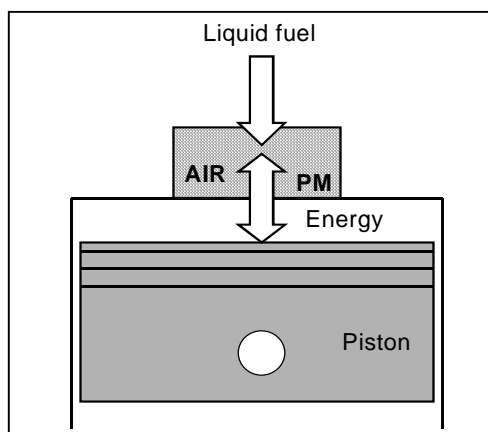


Figure 14: Principle of a PM-engine concept

6.1. Principle of Mixture Direct Injection concept and its ability for creating intelligent multi-mode combustion system

MDI - Mixture Direct Injection concept offers homogenization of the combustion process by performing of fuel vaporization, its chemical recombination and energy recirculation in a porous medium. The enthalpy of the burned gases is partly transferred to the porous medium and can later be supplied back to the cylinder. This energy is utilized for both vaporization of liquid fuel and for its chemical recombination in the PM-volume.

A practical realization of the MDI system requires a porous medium chamber to be mounted in proximity to the cylinder and equipped with a valve (in this paper a poppet valve is considered) permitting contact between PM-chamber and the cylinder volume. The engine cycle described below, models the real engine cycle, and other than presented timings for PM-chamber may be used. MDI concept may be combined with conventional combustion modes: GDI, HCCI and with radical combustion, and only control of the PM-chamber timing is necessary to select a combustion mode used in the engine. MDI concept offers combination of these individual systems by applying the variable timing of the PM-chamber, as described below.

Characteristic phases of the cycle with MDI mixture preparation are as follows (see Fig.15):

- **Phase I** - PM-chamber is charged with a burned gases containing energy,
- **Phase II** - liquid fuel is injected to PM chamber and fuel vaporization performs,
- **Phase III** - gas (evaporated fuel, energy, active radicals) discharges from PM-chamber to the cylinder (non-combustible mixture),
- **Phase IV** - mixing with cylinder air performs and ignition of combustible mixture is realized.

The system considered in Figure 15 consists of the cylinder with a moving piston and of the PM-chamber equipped with a poppet valve. This valve allows control of the PM-chamber timing. Let us consider combination of MDI concept with individual combustion systems, while the PM-chamber timing depends on the ignition/combustion mode realized in engine.

Let us start this analysis from the middle expansion stroke (Fig. 15 top-left). A chamber contains the porous medium which is thermally isolated from the head walls. During this period of the engine cycle the valve in PM-chamber opens, and owing to the pressure difference between cylinder and PM-chamber, certain mass of a high temperature burned gases flows into the PM-volume (Fig.16).

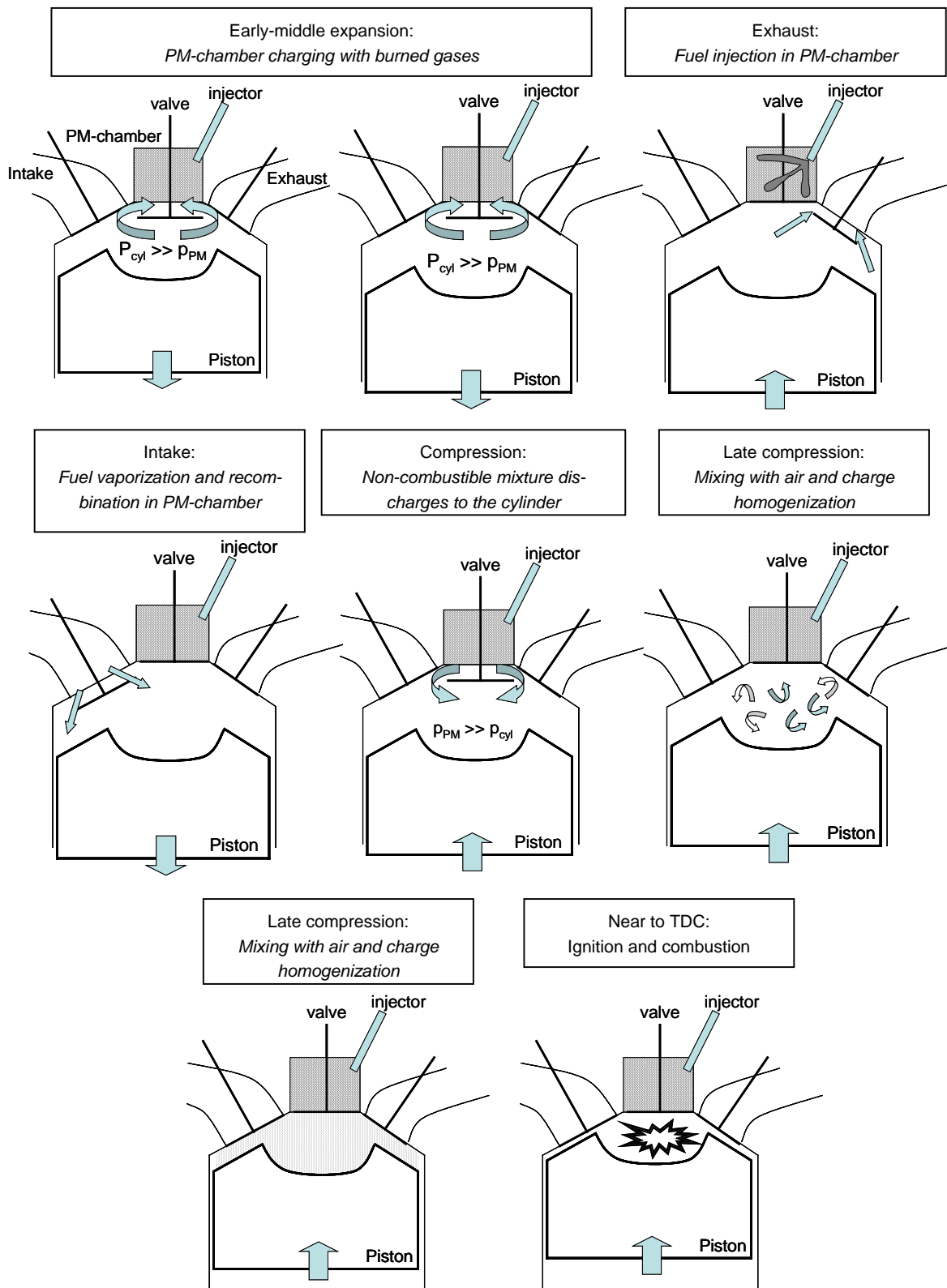


Figure 15: Main phases of MDI system operation

After closing the PM-chamber, the expansion and exhaust processes continue in the cylinder without any contact with the PM-chamber content. After closing the PM-chamber, liquid fuel is injected in to By closing the valve, this gas is trapped inside the PM-chamber. The control of the rate of the trapped in PM-chamber gases is permitted by controlling of the valve timing.

exhaust processes continue in the cylinder without any contact with the PM-chamber content. After closing the PM-chamber, liquid fuel is injected in to PM-volume, and time available for this process and for fuel vaporization is very long. Important is, that vaporization process is independent of the spray atomization, engine load or of the engine rotational speed.

Because the fuel is injected into the gas atmosphere with a very low oxidant concentration the resulting mixture in PM cannot ignite, even under high gas/PM temperature.

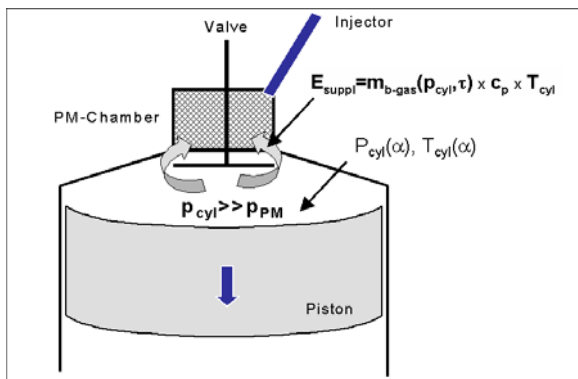


Figure 16: PM-charging with burned gases

This non-combustible gaseous charge formed in the PM-volume is „injected“ back to the cylinder when the PM-chamber valve opens, since the pressure in the PM chamber is much higher than the cylinder pressure (available timing is from intake to late compression period).

This high pressure gas discharge from the PM-chamber to the cylinder generates a highly turbulent flow conditions in the cylinder supporting mixing and homogenization of the cylinder charge.

This mixture discharge (“injection”) in to the cylinder permits additional energy and chemically active radicals (see result of pre-ignition chemical recombination) to be supplied together with a completely vaporized fuel (Fig.17).

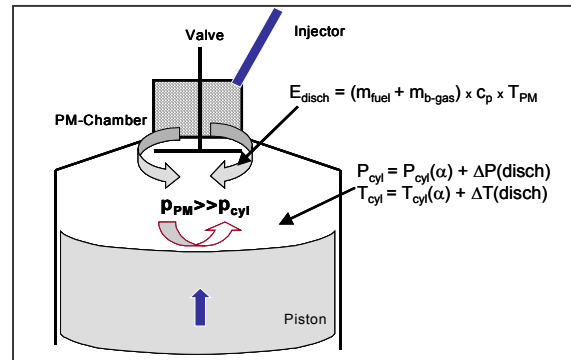


Figure 17: PM-chamber – discharging process; $\Delta p(\text{disch})$ is the cylinder pressure increase due to discharge from the PM-chamber, $\Delta T(\text{disch})$ is the cylinder temperature increase due to discharge from the PM-chamber, α is the cycle timing (crankangle)

This gaseous charge supplied to the cylinder may be used for significant extension of the effective lean-limit of the homogeneous charges, for increasing of the charge ignitability and for controlling the thermodynamic conditions of the charge depending on the engine operational conditions.

The end compression temperature may also be controlled. The different fluid-dynamical coupling phases between PM-chamber and cylinder are shown in Figure 18.

MDI concept may be combined with different individual conventional combustion systems.

Combination of MDI with GDI combustion system offers the following features: extension of lean effective limit and improvement of charge ignitability of a homogeneous charge, reduction of temperature peaks under lean operation conditions (homogeneous charge), no liquid fuel is present in the cylinder (no soot), excellent cold start conditions.

Combination of MDI with HCCI combustion system offers the following features: extension of lean effective limit and improvement of charge ignitability of a homogeneous charge, fuel supply and mixture preparation weakly dependent on the engine load, complete fuel vaporization, better and faster homogenization of the charge in the cylinder, no liquid fuel is present in the cylinder, mixture preparation process is almost independent of the art of fuel. MDI system offers control of the ignition conditions in the cylinder and may adopt these conditions to actual engine operational conditions.

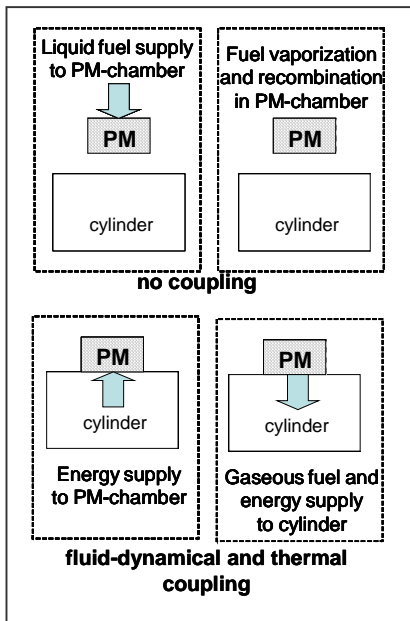


Figure 18: Fluid-dynamical and thermal coupling between PM-chamber and engine cylinder

Combination of MDI with RC combustion system offers the following features: elimination of hot EGR trapped in the cylinder, control of active radicals almost independent of the cylinder conditions, extension of lean effective limit and improvement of charge ignitability of a homogeneous charge, fuel supply and mixture preparation are weakly dependent on the engine load, better and faster homogenization of the charge, no liquid fuel is present in the cylinder, mixture formation conditions are independent of the art of fuel (Fig.19 and Table 1).

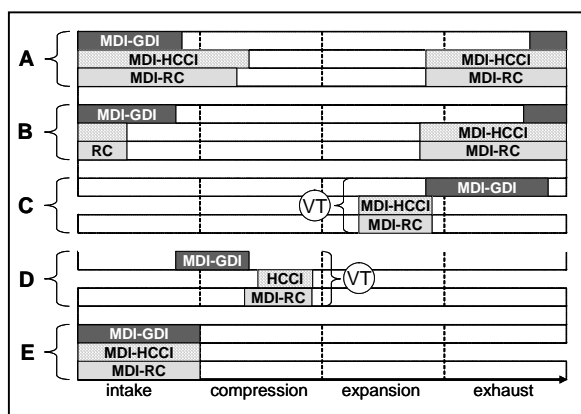


Figure 19: Timing of MDI system as combined with individual systems (GDI, HCCI and RC) for selected processes; VT – variable timing of the PM-chamber, A-liquid fuel vaporization, B-liquid fuel supply to PM-chamber, C-energy supply to PM-chamber (chamber charging), D-fuel vapours and energy supply to the cylinder (chamber discharging), E-air supply to the cylinder.

6.2. Potential of MDI system for creating intelligent engine combustion system

A choice of the combustion mode in MDI-adaptive system is related to the actual engine load, speed and mass of fuel supplied to the engine. This choice may be controlled by PM-chamber timing. Valve opening timing (beginning and duration) for PM-chamber charging with burned gases defines energy accumulated in PM, PM temperature, pressure in PM-chamber, amount of burned gases trapped in PM-volume, chemical activity of the fresh charge, possible timing for discharging to the cylinder. During this time the cylinder pressure is higher than the pressure in PM-chamber.

MDI system offers the following abilities for variable engine load and speed:

- Variable amount of energy supplied to the chamber results in variable temperature of the cylinder charge, and variable end of compression cylinder temperature (using constant compression ratio) – Fig.15 to 19.
- Variable hot EGR realized in PM-chamber together with variable mass of fuel results in variable heat capacity of the cylinder content (Fig.20)

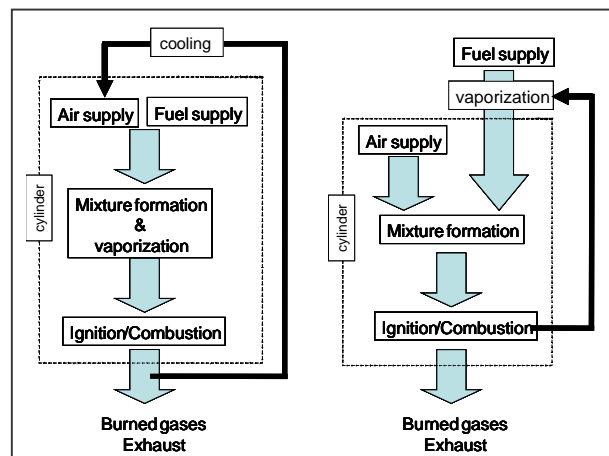


Figure 20: Energy (EGR) recirculation in conventional engine (left) and in MDI concept (right)

- Variable timing of the PM-chamber results in variable temperature history in the cylinder during intake and/or compression strokes – Fig.15 to 19.
- Variable engine load means variable mass of fuel supplied to the PM-chamber but still with long time available for fuel supply and complete vaporization

- *Variable temperature of the gas supplied to the chamber and then to the cylinder results in variable chemical activity of the charge*
- *Variable engine speed results in variable timing of the cycle in the cylinder, but in PM-chamber the same period of crankangle is available for fuel supply and vaporization*
- *Different timings are available for gas supply from the PM-chamber to the cylinder, however only one requirement is given, $p_{PM} \gg p_{cyl}$ (see Fig.21).*

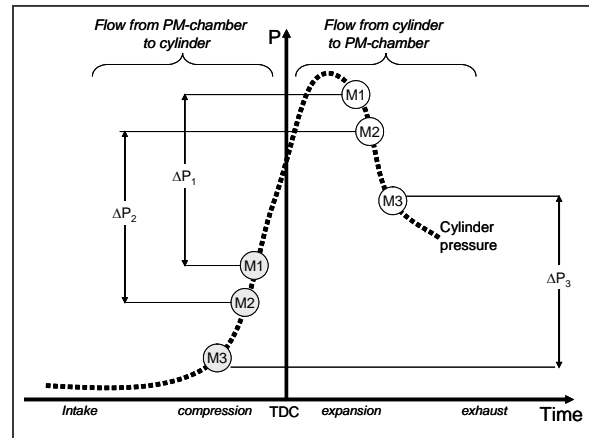


Figure 21: Examples of localization of characteristic timings for chamber charging and discharging with respect to the cycle timing and cylinder pressure; M- mode

Parameter	GDI	MDI-GDI	HCCI	MDI-HCCI	RC	MDI-RC
In-cylinder flow structure	Very critical	Not critical	Very critical	Not critical	Critical	Not critical
Timing of fuel injection (DI system)	Very critical	Not critical	Very critical	Not critical	Important	Not critical
Spray shape and atomization structure	Very critical	Not critical	Very critical	Not critical	May be critical	Not critical
Completeness of fuel vaporization by ignition and combustion timing	questionable	yes	questionable	yes	questionable	yes
Liquid phase present in cylinder, especially during combustion- soot	yes	not	possible	not	possible	not
Extension of lean limit for homogeneous charge	not	yes	not	yes	limited	yes
Nearly-Stoichiometric homogeneous charge compositions (high load)	yes	yes	not	yes	not	yes
Improved ignitibility	not	yes	not	yes	yes	yes
Internal energy recirculation	not	yes	not	yes	yes	yes
Active radicals	not	yes	not	yes	yes	yes
Turbulization of cylinder charge during late compression	not	yes	not	yes	not	yes
Operation under variable load-speed conditions	yes	yes	questionable	yes	limited	yes
Dependence on load	significant	weak	critical	weak	critical	weak
Trapping of hot burned gases in cylinder	not	not	not	not	yes	not

Table 1: Comparison of basic features of different DI-combustion systems with and without application of MDI concept

- *Despite of variable speed and load, in the engine cylinder mix two gases under strongly turbulent conditions resulting in pretty well pre-mixed gaseous charge prior ignition,*

Variable load and speed require variable e. variable ignition conditions and variable charge reactivity according to the actual operational conditions, i.e. variable ignition and combustion mode (see intelligent system based on the MDI concept) as described in this paper.

The combination of these variable conditions allows not only realization of homogeneous combustion conditions (see definition) but also permits control of ignition timing and of heat release rate. These both aspects define practicability of the combustion system operating under homogeneous combustion conditions. Important is, that only one variable parameter (i.e. PM valve timing) is necessary in MDI concept to control the engine operational conditions.

This variable timing of MDI concept permit control of the following cylinder charge parameters:

TDC compression temperature.

- Temperature history during the compression stroke.
- Reactivity (chemical activity) of the charge.
- Homogeneity of the charge (with completely vaporized fuel).
- Heat capacity of the charge.

7. Concluding remarks

There is no doubt that the future of internal combustion engine is related to the homogeneous combustion process in a wide range of engine operational conditions.

This technique shows potential for a near-zero combustion emissions (especially NO_x and soot) as well as high cycle efficiency (low fuel consumption). Moreover, this kind of combustion system is less fuel specific. However, the realization of homogeneous combustion in IC engine under variable loads and speeds will probably require new concepts for mixture formation and controlled ignition conditions under different engine loads. The future engine operating with a homogeneous combustion process in a wide range of load and speed will require variable temperature history during the compression stroke, variable TDC compression temperature, completely vaporized fuel prior the ignition process, variable mixture composition (A/F ratio), variable reactivity (ignitability) of the charge, homogeneity of the charge, volumetric ignition conditions, variable heat capacity of the cylinder content, and fuel supply and fuel vaporization conditions to be independent of the engine load. This means, that future engine must be able to change (itself) thermodynamic and chemical properties of the cylinder charge under variable operational conditions.

A chance to get such a control is offered by application of the MDI concept to intelligent engine combustion system as proposed in this paper.

References

- [1] Durst, F., Weclas, M. 2001, A new type of internal combustion engine based on the porous-medium combustion technique, J. Automobile Engineering, IMechE, part D, No. D04999, 215 , pp. 63 - 81.
- [2] Durst, F., Weclas, M. 2001, A new concept of I.C.engine with homogeneous combustion in porous-medium (PM), 5th Int. Symposium COMODIA-2001, Nagoya, Japan.
- [3] Ishibashi, Y., Asai, M. 1988, A low pressure pneumatic two-stroke engine by activated radical combustion concept, SAE Technical Paper, No. 980757.
- [4] Kusaka, J., Yamamoto, T., Daisho, Y. 2000, Simulating the homogeneous charge compression ignition process using a detailed kinetic model for n-heptane mixtures, Int. J. Engine Research, Vol.1, 3, pp. 281 - 289.
- [5] Rault, A. 2002, Mid and long term powertrains evolution associated fuels, EUCAR Presentation to OICA, February, 2002.
- [6] Urushihara, T., Hiraya, K., Kakuho, A., Itoh, T., 2001, Parametric study of gasoline HCCI with various compression ratios, intake pressures and temperatures, Proc. A New Generation of Engine Combustion Processes for the Future?, Ed. Duret, P. pp. 77 - 84.
- [7] Weclas, M. 1999, New concepts for reduction of engine emissions by application of porous medium (PM) technology to mixture formation and combustion processes, Internal Report, Invent GmbH.
- [8] Weclas, M. 2002, Anwendung von hochporösen Schäumen in stationären und nicht-stationären Verbrennungsprozessen, Seminar Industrietag Schaumkeramik, Fraunhofer IKTS, Dresden, April, 2002.
- [9] Weclas, B. Ates, V. Vlachovic, 2003, Basic aspects of interaction between a high velocity Diesel jet and a highly porous medium (PM), 9th Int. Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ICLASS 2003.
- [10] Yanagihara, H. 2001, Ignition timing control at Toyota "Unibus" combustion system, Proc. A New Generation of Engine Combustion Processes for the Future?, Ed. Duret, P. pp. 35 - 42.

Prozessansatz zur Formulierung von Beschaffungs- und Materialfeldstrategien Basiskonzept und Forschungsleitfragen

Prof. Dr. Gerhard Heß

Fachbereich Betriebswirtschaft
Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg
Bahnhofstraße 87, 90402 Nürnberg

hess@professorhess.de

Abstract

Mit ihrem Bedeutungszuwachs in der Unternehmenspraxis gewinnt die Beschaffung an strategischer Relevanz. Im vorliegenden Artikel wird ein Basiskonzept zur Formulierung von Beschaffungsstrategien vorgestellt. Ausgangspunkt sind shareholder-value-basierte Ziele der Beschaffung. Die Konkretisierung der Beschaffungsstrategie erfolgt auf Ebene einzelner Materialfelder. Hierzu werden zunächst die Materialfelder strukturiert, segmentiert und priorisiert. Für die strategisch relevanten Materialfelder wird eine Materialfeldstrategie über die Schritte Materialfeldanalyse und Materialfeldoptionen abgeleitet. Die in der Beschaffungsstrategie zusammengefassten Materialfeldstrategien werden über die Beschaffungsstrategie koordiniert und auf die Unternehmensstrategie bezogen.

Das vorliegende Basiskonzept steht in der Tradition der Prozessansätze der Strategielehre und zielt (1) auf eine systematische Verankerung der Beschaffung in der Strategie des Unternehmens, (2) auf einen ersten Strukturierungsvorschlag zur Formulierung von Beschaffungsstrategien sowie (3) auf die Identifikation des Forschungsbedarfs zur systematischen Fundierung und praktischen Implementierung von Beschaffungs- und Materialfeldstrategien.

Inhaltsübersicht	Seite
1. Bedeutungswandel von Beschaffungsstrategien	22
1.1 Strategische Bedeutung der Beschaffung	22
1.2 Strategiedefizite in der Beschaffung	23
2. Konzeptionelle Grundlagen zur Formulierung von Beschaffungsstrategien	26
2.1 Zum Begriff der Strategie und der Beschaffungsstrategie	26
2.2 Prozessuales Rahmenkonzept zur Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien	32
3. Ziele der Beschaffung	39
3.1 Prozessorientiertes Konzept der Beschaffungsziele	40
3.1.1 Leistungsziele	41
3.1.2 Kostenziele	42
3.2 Beschaffungsziele und Shareholder Value	44
4. Definition und Priorisierung von Materialfeldern	46
4.1 Zielsetzung der Materialfeldbildung	46
4.2 Methodik der Materialfelddefinition	48
4.3 Priorisierung der Materialfelder	54
5. Materialfeldanalyse	56
6. Materialfeldoptionen: Gestaltungsdimensionen der Materialfeldstrategie	60
6.1 Sourcing-Konzepte	61
6.2 Modell zur Systematisierung der Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie	64
7. Integrierte Materialfeldstrategie und Beschaffungsstrategie	74
7.1 Ableitung von Materialfeldstrategien	74
7.2 Ableitung von materialfeldübergreifenden Beschaffungsstrategien	81
8. Zusammenfassung und Ausblick	82
Literaturverzeichnis	84

1. Bedeutungswandel von Beschaffungsstrategien

1.1 Strategische Bedeutung der Beschaffung

Bis Mitte der 80er Jahre spielte der Einkauf und die Beschaffung im Rahmen der Unternehmensstrategie und -politik keine wesentliche Rolle. Mit dem Anwachsen des globalen Wettbewerbs wurde, insbesondere in Branchen mit geringer Wertschöpfungstiefe, die Effektivität der Materialversorgung als ein zentraler Wettbewerbsfaktor erkannt. Zudem wurde das Verbesserungspotenzial als besonders hoch eingeschätzt, da im Gegensatz zum Marketing und Vertrieb die Beschaffung bis dato kaum einer systematischen und umfassenden Optimierung unterzogen wurde. Der Erfolg des "Stareinkäufers" Lopéz in der Automobilindustrie zu Beginn der 90er Jahre sorgte für eine rasche Penetration des Einkaufs als strategischen Erfolgsfaktors.¹

Die immense Bedeutung, die heute der Beschaffungsfunktion im Unternehmen zukommt, lässt sich anhand einer Studie der Bain&Company Inc. aus dem Jahre 2002 verdeutlichen (vgl. Abbildung 1).² In den sechs untersuchten Branchen konnte ein durchschnittlicher Materialkostenanteil von 61 % ermittelt werden. Bei einer hieraus resultierenden Wertschöpfungstiefe von durchschnittlich 39 % ist die Beeinflussbarkeit des wirtschaftlichen Ergebnisses aus dem Unternehmen heraus beschränkt. Hingegen verspricht der vermeintlich einfachere Weg der Kostenreduzierung im Einkauf erhebliche Ergebnispotenziale. Gemäß der Bain-Studie führt beispielsweise eine einprozentige Senkung der Materialkosten im Handel zu einer Steigerung des Betriebsergebnisses vor Zins und Steuern von 37 %. Im Durchschnitt über die betrachteten Branchen erhöht jeder Prozentpunkt Materialeinsparung das Betriebsergebnis um 18 %. Die Aufmerksamkeit, die angesichts derartiger Ergebnispotenziale der Beschaffung vom Management entgegengebracht wird, wird in einer Befragung der European Logistics Association aus dem Jahre 2002 aufgezeigt. Nach dieser Studie widmen sich CEOs etwa ein Drittel ihrer verfügbaren Zeit der Optimierung der Supply Chain.³

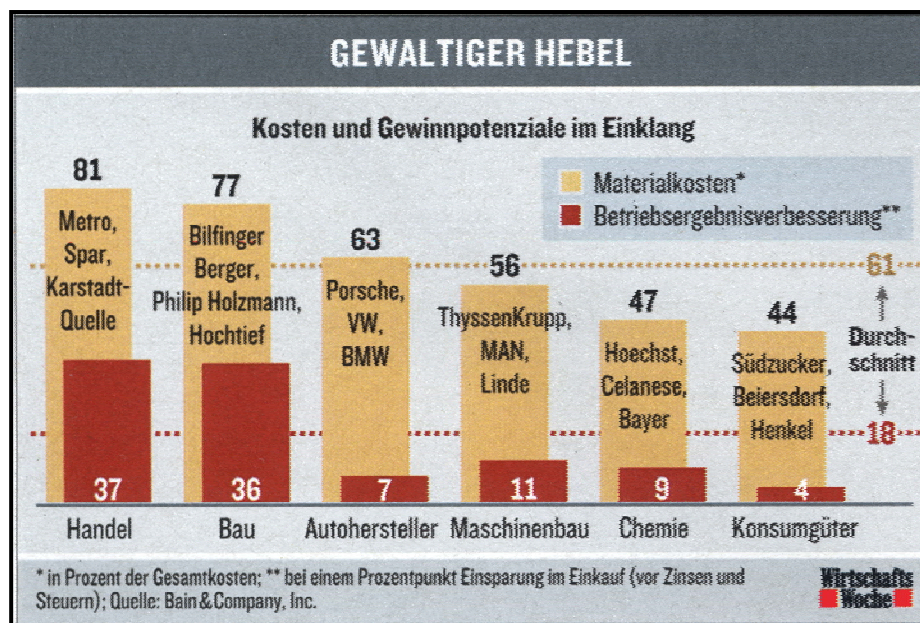


Abbildung 1: Ergebnisbeitrag des Einkaufs
Quelle: Bain&Company nach Wirtschafts-woche vom 1.8.2002

¹ Vgl. Kaufmann (Purchasing), S. 7 f.

² Vgl. Bain&Company Inc.-Studie zitiert nach Wirtschaftswoche vom 1.8.2002.

³ Vgl. European Logistics Association (ELA) zitiert nach logistik inside vom 13.12.2002.

Im Rahmen dieses Bedeutungszuwachses hat sich der Fokus in der Beschaffung stark ausgedehnt.

(1) Der Blickwinkel wurde von einer reinen Optimierung der Einkaufspreise auf - bei allen praktischen Umsetzungsproblemen, die sich hierbei ergeben - eine umfassende Total-Cost-of-Ownership-Betrachtung erweitert. So werden beispielsweise die Konsequenzen mangelnder Liefertermintreue oder fehlerhafter Kaufteile für die Produktionskosten explizit in der Einkaufskalkulation berücksichtigt. Derartige Ausstrahlungseffekte der Einkaufsentscheidung auf die Kostensituation entlang der Geschäftsprozesskette werden in vielen Unternehmen als wichtiger Hebel zur Kostenoptimierung verstanden.

(2) Im Rahmen der Supply-Chain-Management-Konzepte wird der Beitrag der Beschaffung zur Differenzierung des beschaffenden Unternehmens in seinen Absatzmärkten intensiv diskutiert. Beispielsweise verlangen strategische Wettbewerbsvorteile, wie kurze Lieferzeiten bzw. ein hoher Servicegrad, häufig eine intensive Zusammenarbeit mit den Lieferanten.⁴

Die Beschaffung leistet also wesentliche Beiträge zur Optimierung der Kostenposition des Unternehmens und der absatzseitigen Differenzierung und wird heute damit in vielen Branchen als ein, wenn nicht sogar als der entscheidende Erfolgsfaktor zur Entwicklung strategischer Wettbewerbsvorteile gesehen.

1.2 Strategiedefizite in der Beschaffung

Angesichts der oben aufgezeigten Bedeutung der Beschaffung erstaunt die inflationäre Verwendung der Modeworte "Strategie" und "strategisch" im Zusammenhang mit Einkauf und Beschaffung nicht. Jedoch überrascht der geringe Konzeptionalisierungsgrad im Bereich der Beschaffungsstrategien, der sich bei einer näheren Sichtung der Veröffentlichungen ergibt. So konstatiert Boutellier u.a. noch im Jahr 2003: "Strategien zeigen Wege zu neuen Zielen. Sie bleiben bis heute im Einkauf eher im Hintergrund."⁵ Im Prinzip lassen sich vier Strömungen zur Behandlung des Strategieproblems in der Beschaffung unterscheiden. Diese sollen im Folgenden knapp skizziert und im Hinblick auf ihr Entwicklungspotenzial hinterfragt werden:⁶

(1) Partikuläre Behandlung strategischer Einzelfragen:

Vielfach werden einzelne strategische Gestaltungsdimensionen isoliert diskutiert. Themen, die in der jüngeren Vergangenheit besonders intensiv behandelt wurden, sind beispielsweise das Lieferantenmanagement, Wertschöpfungspartnerschaften, Global Sourcing, Make-or-Buy, Entwicklungspartnerschaften, Bestimmung der Lieferantenzahl, verschiedene Aspekte des e-procurements sowie der produktionssynchronen Materialversorgung. Hierbei werden meist die Handlungsoptionen strukturiert, die Vorteilhaftigkeit der Alternativen - mit oder ohne Situationsbezug - diskutiert und ggf. Umsetzungsempfehlungen aufgelistet.

Natürlich ist die Konzentration auf eine spezifische Fragestellung eine zulässige Forschungsoption. Nur so können einzelne Fragestellungen vertieft analysiert werden. Ein Theorie- (und Praxis-)defizit liegt allerdings dann vor, wenn selbst in Arbeiten mit umfassendem Anspruch eine systematische Grundlegung fehlt und Beschaffungsstrategien als Summe von Einzelfragen behandelt werden. Als typischer Vertreter dieser Richtung kann Hahn / Kaufmann "Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement" eingestuft werden.⁷ Im Vorwort formulieren die Autoren den sicherlich im großen Umfang erfüllten Anspruch des Sammelbandes: "Mit dem Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement wollen wir ein Grundlagenwerk vorlegen, das den "State of the Art" vorstellt."⁸ Folgerichtig wird der zweite Teil mit insgesamt zehn Beiträgen beschaffungsstrategischen Themen gewidmet. Ein systematisches Konzept der Beschaffungsstrategie findet sich hingegen nicht.

⁴ Vgl. ausführlich Cox (Beschaffungswesen). Insbesondere setzt sich Cox mit der Argumentation von Ramsay (Irrelevance) auseinander, gemäß der nur strategisch irrelevante Materialien und Leistungen an Lieferanten vergeben werden dürfen und deshalb die Beschaffung insgesamt strategisch irrelevant ist. Abgesehen davon, dass Ramsay in späteren Artikeln seine Aussagen selbst stark relativiert, argumentiert Cox über den Ergebnisbeitrag des Einkaufs, insbesondere über die richtige Auswahl der Zukaufsobjekte sowie ein dominanzorientiertes Lieferantenmanagement.

⁵ Boutellier, Wagner, Wehrli (Handbuch) S. 79.

⁶ Die differenzierte Behandlung einzelner Ansätze erfolgt unten im Rahmen der Entwicklung unseres Konzeptes.

⁷ Hahn, Kaufmann (Handbuch).

⁸ Hahn, Kaufmann (Handbuch) S. VI.

(2) Sourcing-Konzepte:

In den Sourcing-Ansätzen werden die Gestaltungsdimensionen einer Beschaffungsstrategie systematisiert und meist additiv diskutiert. Beispielsweise umfasst der Sourcing-Würfel von Corsten die Gestaltungsdimensionen Bezugsquellenzahl (single, dual, multiple), Ausdehnung der Märkte (global, local) und Komplexität der Objekte (element, modular).⁹ Je nach Autor und Zweck werden die Zahl, die Systematisierung und die inhaltliche Ausgestaltung der Dimensionen verändert. Lieberum gibt einen Überblick über wesentliche Sourcing-Ansätze.¹⁰

Die Systematisierung der Gestaltungsdimensionen und ihrer Ausprägungen ist für die Entwicklung einer Beschaffungsstrategie hilfreich. Wir werden uns in Kapitel 6 intensiv dieser Ansätze bedienen. Problematisch bleibt allerdings, dass die einzelnen Gestaltungselemente isoliert, bestenfalls in einer festgelegten Reihenfolge auf ihre Vorteilhaftigkeit hin erörtert werden. Eine integrierte Analyse der Gestaltungsdimensionen, insbesondere auch die Verknüpfung zum strategischen Kontext, zur Unternehmensstrategie und zu den Beschaffungszielen, erfolgt kaum oder gar nicht.

Ferner konzentrieren sich die Ansätze auf die Wahl der strategischen Optionen im Rahmen der Strategieformulierung. Weitere Fragestellungen zur Entwicklung von Beschaffungsstrategien, z.B. zur Beschaffungsmarkt- oder Materialgruppenbildung oder zum strategischen Controlling, werden nicht behandelt.

(3) Portfolio-Ansätze:

Analog zu den Portfolioansätzen der Strategielehre wird die Beschaffungssituation einzelner Beschaffungsobjekte auf zwei Dimensionen - meist mit Hilfe von Scoringmodellen - verdichtet abgebildet. Für derart eingruppierte Beschaffungsobjekte ergeben sich dann jeweils Normstrategien. Klassisches Beispiel ist das Portfolio von Kraljic, der die Beschaffungsobjekte nach deren Ergebniseinfluss und deren Versorgungskomplexität beurteilt.¹¹ Neben der Analyse von Beschaffungsobjekten werden Portfolios im Einkauf auch zur Entwicklung von Normstrategien gegenüber Beschaffungsquellen verwendet.

Wir werden uns unten den Portfolio-Ansätzen und ihrer Kritik im Detail zuwenden. An dieser Stelle soll nur das hohe Abstraktionsniveau der Situationsanalyse sowie der Normstrategien als für den praktischen Einsatz problematisch gekennzeichnet werden. Die generellen Aussagen einer Portfolioanalyse können zwar erste interessante Hinweise liefern, sind aber für die konkrete Strategieformulierung zu allgemein. Interessant erscheinen Fortentwicklungen der Portfolioansätze, die auf Basis einer Portfolioanalyse eine prozessuale Vorgehensweise zur Konkretisierung der Normstrategien aufsetzen. Hervorgehoben sei hier insbesondere die Einkaufspotenzialanalyse von Wildemann.¹² Mit diesem Ansatz werden wir uns unten intensiv auseinandersetzen.

(4) Umfassende Prozessansätze zur Entwicklung und Implementierung von Beschaffungsstrategien:

Aufbauend auf dem Prozessansatz der Strategielehre wird der Prozess der Formulierung und Implementierung der Beschaffungsstrategie entwickelt. Hierbei ist der sukzessive Charakter der Beschaffungsstrategie als aus der Unternehmensstrategie abgeleiteter Funktionalstrategie¹³ zu beachten. In ihrer präskriptiven Ausrichtung bieten die Prozessansätze dem Einkaufspraktiker Unterstützung in Form einer systematischen Vorgehensweise zur Ableitung von Beschaffungsstrategien, durch Strukturierung des Entscheidungsfeldes und durch Bereitstellung inhaltlich gehaltvoller Checklisten sowie heuristischer Entscheidungstools.

Defizit der älteren Prozessansätze (bis Mitte der 90er Jahre) ist die zu geringe inhaltliche Konkretisierung der Entscheidungsunterstützung, da logischerweise die umfangreichen Forschungsbemühungen im Beschaffungsmanagement der letzten Jahre noch nicht verarbeitet werden konnten. So bleiben diese Ansätze sehr formal.¹⁴ Neue umfassende Prozessansätze zur Entwicklung von Beschaffungsstrategien sind selten¹⁵ und müssen in der Summe als inhaltlich noch stark entwicklungsfähig eingestuft werden.¹⁶

⁹ Corsten (Beschaffungsmanagement) S. 573 ff.

¹⁰ Vgl. Lieberum (4-Ebenen-Modell) S. 17 ff.

¹¹ Kraljic (Versorgungsmanagement).

¹² Wildemann (Einkaufspotenzialanalyse).

¹³ Wir schlagen unten in Kapitel 2 eine prozessorientierte Vorgehensweise vor und sprechen deshalb im Gegensatz zum üblichen Sprachgebrauch von Kernprozessstrategien.

¹⁴ Dies gilt teils auch für neuere Ansätze, z.B. Quervain, Wagner (Strategiefindung).

¹⁵ Krampf (Beschaffungsmanagement) S. V.

¹⁶ Folgende Ansätze werden wir näher betrachten: Koppelman (Beschaffungsmarketing), Krampf (Beschaffungsmanagement).

Den Teilaspekt der Strategieimplementierung behandeln in der jüngeren Zeit Ansätze zur Einkaufs-Balanced-Scorecard.¹⁷ Mit Hilfe einer Ursache-Wirkungs-Methodik werden strategische Ziele in handlungsorientierte Zielsetzungen und Maßnahmen konkretisiert und so einer Umsetzungssteuerung zugänglich. Wir werden die Balanced-Scorecard-Systematik in unser Konzept integrieren. Allerdings werden wir uns im Rahmen dieses Artikels auf die Formulierung von Beschaffungsstrategien konzentrieren.

Aus dem knapp skizzierten Entwicklungsstand von Beschaffungsstrategien ergibt sich der Forschungsbedarf und somit die Zielsetzung unserer Arbeit:

Fernziel der Forschungsbemühungen ist ein inhaltlich gehaltvolles umfassendes Prozessschema zur Entwicklung und Steuerung von Beschaffungsstrategien in Unternehmen und Supply-Chain Netzwerken. Dabei werden wir stets einen einzelwirtschaftlich-entscheidungsorientierten Blickwinkel einnehmen, d.h. wir werden die Entwicklung und Steuerung von Beschaffungsstrategien aus Sicht eines handelnden Unternehmens konzeptionalisieren.

Unsere Intention ist handlungsorientiert in dem Sinne, dass Unternehmen für ihre Beschaffungspraxis unmittelbare Anleitung und Hilfestellung erhalten sollen. Konkret werden folgende methodische Ziele angestrebt:

- Entwicklung eines umfassenden und systematischen Prozessschemas zur Ableitung und Steuerung von Beschaffungsstrategien und Strukturierung des Entscheidungsfeldes: In der Praxis finden sich häufig vielfältige und nicht aufeinander abgestimmte Methoden und Instrumente zur Entwicklung von Beschaffungsstrategien, z.B. Lieferantenbewertung, Materialgruppenstrategie und Einkaufscontrolling. Eine systematische Vorgehensweise hilft Redundanzen und Widersprüche zwischen den einzelnen Instrumenten zu vermeiden. Ferner wird die Integration in ein übergreifendes strategisches Managementsystem vereinfacht.
- Methodenunterstützung der einzelnen Analyse- und Entscheidungsfelder: Für die einzelnen Schritte bei der Entwicklung und Implementierung von Beschaffungsstrategien, z.B. Beschaffungsmarktanalyse, Bedarfsanalyse, Wahl von Materialgruppenstrategien, sollen Instrumente bereitgestellt werden. Beispiele solcher Instrumente sind Analyseraster, systematische Checklisten, Kalkulationsverfahren sowie inhaltlich gehaltvolle Scoringmodelle.
- Entscheidungsheuristiken: Bei aller methodisch gebotener Vorsicht soll eine Verknüpfung zwischen Handlungssituation und Gestaltung der Beschaffungsstrategie hergestellt werden. Es soll der Versuch unternommen werden, inhaltliche strategische Aussagen mittlerer Reichweite mit rein heuristischem Geltungsanspruch zu generieren.
- Ferner sollen Hinweise zur Implementierung der Konzepte und der Methoden sowie zum Umsetzungsstand und den Anwendungserfahrungen gegeben werden.

Diese umfassende Zielsetzung gilt für uns als Forschungsvision und damit als Forschungsfernziel. Mit dem vorliegenden ersten Entwurf soll zunächst der konzeptionelle Rahmen skizziert und damit das Themenfeld zielorientiert strukturiert werden. Innerhalb dieser Struktur kann dann der Stand der aktuellen Forschung und Unternehmenspraxis systematisch analysiert werden. Ferner kann damit - und das soll eine der vornehmlichen Zielsetzungen unserer Ausführungen sein - der Forschungsbedarf expliziert werden. Damit wird die Basis für eine explorative Entwicklungsphase gelegt, in der das vorgeschlagene Konzepte in der wissenschaftlichen Diskussion sowie im Praxistest reifen kann.

Im ersten Schritt werden wir unseren Strategiebegriff allgemein und im Konkreten für die Beschaffung entwickeln. Auf dieser Basis können wir unser Verständnis zur Forschungsmethodik im strategischen Kontext und darauf aufbauend unser prozessuales Basiskonzept vorstellen. Wir werden die Struktur dieses Artikels an unserem Basiskonzept orientieren. (Kapitel 2)

Die Beschaffungsziele dienen als Ausgangspunkt und Maßstab zur Beurteilung der Beschaffungsstrategien. Entsprechend der aktuellen Entwicklungen im Performance-Management werden wir einen shareholder-value-basierten Ansatz zugrunde legen. Damit werden wir die klassischen gewinnorientierten Zielsysteme der Beschaffung um die Vermögens- und Risikowirkung der Strategie erweitern. (Kapitel 3)

¹⁷ Vgl. beispielsweise Engelhardt (Balanced Scorecard) sowie Engelhardt (Praxis).

Beschaffungsstrategien sind - so jedenfalls unsere These - primär auf einzelne Beschaffungsmärkte gerichtet und deshalb materialfeldorientiert. Insofern müssen die relevanten Beschaffungsmärkte identifiziert und priorisiert werden. Kriterien der Materialgruppierung stehen im Mittelpunkt dieses Abschnittes. (Kapitel 4)

Für die bedeutsamen Materialfelder werden dann Materialfeldstrategien in drei Schritten entwickelt. Zunächst wird im Rahmen der Materialfeldanalyse der Bedarf, das Branchenumfeld und die allgemeine Umwelt näher betrachtet. Anschließend können dann die wesentlichen Gestaltungsdimensionen auf Materialfeldebene identifiziert werden. Wir stellen hierzu eine Systematik zur Verfügung. Schließlich müssen die einzelnen Gestaltungsdimensionen zu einer integrierten Materialfeldstrategie konsolidiert werden. An dieser Stelle werden wir auf die Verknüpfung von Materialfeldstrategien zu einer Beschaffungsstrategie im Unternehmen eingehen. (Kapitel 5 bis 7)

In Kapitel 8 erfolgen eine knappe Zusammenfassung und ein kurzer Ausblick.

2. Konzeptionelle Grundlagen zur Formulierung von Beschaffungsstrategien

2.1 Zum Begriff der Strategie und der Beschaffungsstrategie

Zur Konzeptionalisierung der Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien soll zunächst die betriebswirtschaftliche Steuerungsaufgabe von Strategien näher charakterisiert werden. Welche Steuerungsprobleme sollen in Unternehmen mit Strategien gelöst werden? Was ist das Besondere einer Strategie? Hieraus ergibt sich unser Verständnis von Beschaffungsstrategien.

Auf dieser Basis kann dann unser prozessuales Konzept zur Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien entwickelt und die Verknüpfung zwischen der Unternehmensstrategie und der Beschaffungsstrategie hergestellt werden.

Nach präskriptivem Strategieverständnis¹⁸ ist Strategie "the determination of the basic long-term goals and objectives of an enterprise, and the adoption of courses of action and the allocation of resources necessary for carrying out these goals."¹⁹ Diese klassische Definition von Chandler aus dem Jahre 1962 muss im Folgenden für unsere Belange in zwei Richtungen präzisiert werden:

- (1) Langfristigkeit und Vorsteuerungscharakter von Strategien
- (2) Sachzielorientierung und Positionierung in der Ziel-Mittel-Hierarchie

(ad 1) Die Notwendigkeit einer mittel- bis langfristigen Unternehmenssteuerung wird in einer Krisensituation - leider gelegentlich zu spät - überaus deutlich. Der Handlungsspielraum und damit verbunden die Ergebnispotenziale des operativen Managements sind beschränkt. Die Wettbewerbssituation in der Branche sowie die Wettbewerbsposition des Unternehmens innerhalb der Branche begrenzen die maximale Rendite, die im aktuellen Geschäftsjahr erzielbar ist. Nachhaltig hervorragende Ergebnisse werden deshalb nur die Unternehmen realisieren können, die im Vorfeld aktiv und systematisch die Erfolgsvoraussetzungen für das operative Management positiv gestaltet haben. Beispielsweise schafft der Einstieg in neue attraktive Geschäftsfelder bzw. der Rückzug aus unattraktiven Geschäftsfeldern eine anstrebenswerte Ausgangsposition. Ebenso ermöglicht eine überlegene Kostenposition - man denke beispielsweise an Aldi - überdurchschnittliche Ergebnisse. Gälweiler spricht in diesem Zusammenhang von Schaffung und Sicherung von Erfolgspotenzialen.²⁰

Entscheidend für die Entwicklung von Erfolgspotenzialen ist ihr vorsteuernder bzw. investiver Charakter. Es müssen heute die Voraussetzungen geschaffen werden, damit in zukünftigen Geschäftsjahren eine Ausgangssituation vorliegt, die überdurchschnittliche Renditen ermöglicht. Je dynamischer sich die Märkte verändern und je agiler sich die Wettbewerber auf neue Marktsituationen einstellen, desto bedeutsamer ist die strategische Vorsteuerung. Alte und bewährte Konzepte bieten in einem neuen Marktumfeld häufig keine Erfolgswahl.

¹⁸ Zum präskriptiven Strategieverständnis, das unserer Arbeit zugrunde liegt, vgl. beispielsweise Hungenberg (Management) S. 3 ff. Steinmann, Schreyögg (Management) S. 149 ff., Schreyögg (Unternehmensstrategie) S. 77 ff., Welge, Al-Laham (Management) S.13.

¹⁹ Chandler (Strategy) S. 23.

²⁰ Gälweiler (Unternehmensplanung) S. 26.

Natürlich kostet die Entwicklung solcher Erfolgspotenziale Geld und wertvolle Managementkapazität. Wer beispielsweise den Markteintritt in den chinesischen Markt plant, wird zunächst umfangreiche Marktstudien, Planungsüberlegungen, Managementbesprechungen, Dienstreisen und vieles mehr investieren müssen. Diese reduzieren im aktuellen Geschäftsjahr den Gewinn, da viele Aufwendungen in Zeit und Geld nicht aktivierbar sind. Hierin spiegelt sich der investive Charakter von Strategien: Zukünftige Erfolgspotenziale werden durch gegenwärtigen Gewinnverzicht erkaufte.

Damit kann der langfristige Charakter von Strategie konkretisiert werden. "Langfristig angelegt" bedeutet dreierlei:

- Bei strategischen Entscheidungen werden die langfristigen Konsequenzen für die Erfolgspotenziale beurteilt.
- Die Entwicklung von Erfolgspotenzialen kann mehrere Jahre dauern. Die Strategie muss damit langfristig vorausplanen, um rechtzeitig mit dem Aufbau zu beginnen.
- Ferner benötigt die Strategie aufgrund der zugrunde liegenden langfristigen Investitionen ein Mindestmaß an Stabilität. Jeder strategische Schwenk vernichtet nicht mehr verwertbare Investitionen in die alte Strategie. Diese Stabilität darf allerdings nicht zur Unbeweglichkeit führen. So können sich aktuell bietende Chancen einen kurzfristigen Schwenk in der Strategie veranlassen. Beispielsweise kann die Möglichkeit der Übernahme eines Wettbewerbers zum bisher nicht beabsichtigten Markteintritt in den USA führen. Strategisch ist die Entscheidung also dann, wenn damit die Renditechancen der nächsten Jahre nachhaltig beeinflusst werden.

Veranschaulicht wird der Vorsteuerungscharakter von Strategie in Abbildung 2: Jedes Dreieck stellt das Renditepotenzial zu Beginn eines Geschäftsjahres dar. Im ersten Jahr führt ein hervorragendes operatives Management zu einer ansehnlichen Rendite, während wenig erfolgreiches Management mit Verlust abschließt. Aufgrund der Dynamik der Märkte wird sich die Ausgangssituation in einem Unternehmen ohne Strategie von Jahr zu Jahr verschlechtern. So sinken von Jahr zu Jahr die Renditechancen. Nach einigen Jahren ist selbst im Best-Case mit Verlusten zu rechnen. Im Bild wird dieser Pfad durch die hellen Dreiecke und die gestrichelte Linie repräsentiert. Strategisch agierende Unternehmen (durchgezogene Linie und dunkle Dreiecke) versuchen aktiv die Erfolgsvoraussetzungen zu gestalten, so dass sich die Erfolgspotenziale von Jahr zu Jahr verbessern. Leider wird dieser einfache Zusammenhang in der Unternehmenspraxis häufig missachtet, da die Investitionen in die Strategie in den ersten Geschäftsjahren Rendite kosten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Die Strategie zielt auf die Schaffung und Sicherung von Erfolgspotenzialen, d.h. auf die Entwicklung einer möglichst günstigen Ausgangssituation für das operative Management der folgenden Jahre. Die Strategie hat damit vorsteuernden und investiven Charakter und ist langfristig angelegt.

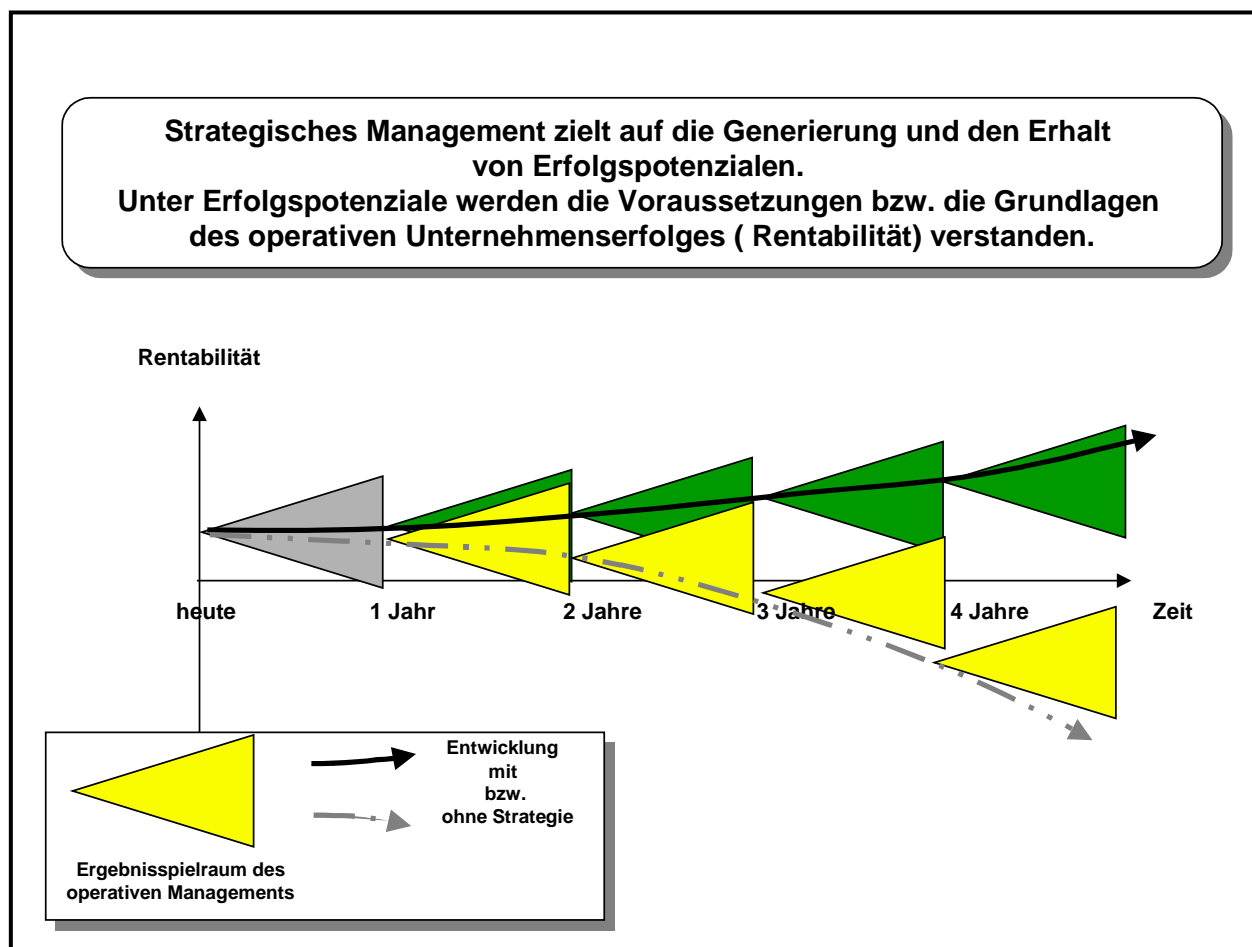


Abbildung 2: Erfolgspotenzial und Strategiebegriff

(ad 2) Die Strategie dient der Erreichung der grundsätzlichen Unternehmensziele und ist damit als Maßnahmenbündel gekennzeichnet. Diese Aussage ist problematischer als sie im ersten Moment erscheint. Jedes Handlungsprogramm kann ja selbst leicht als Zielsetzung umformuliert werden, so dass die Unterscheidung zwischen Zielen und Maßnahmen nicht mehr eindeutig ist.²¹ Dies mag ein kleines Beispiel verdeutlichen: Zur Steigerung der Unternehmensrendite beschließt das Management die "Strategie", in den amerikanischen Markt mit Hilfe der Akquisition eines lokalen Unternehmens einzutreten. Das Handlungsprogramm "Markteintritt in den USA" kann leicht als strategisches Ziel für nachfolgende Maßnahmen uminterpretiert werden. "Um in zwei Jahren den Markteintritt in den USA realisiert zu haben (Ziel), sind folgende Maßnahmen auszuführen ...". Die Unterscheidung zwischen Ziel und Mittel ist also zur Klärung des Aufgabenbereiches von Strategien nicht ausreichend. Vielmehr muss im Rahmen einer idealtypischen Ziel-Mittel-Hierarchie von Unternehmen in einer Wettbewerbswirtschaft der Gegenstandsbereich von Strategien inhaltlich konkretisiert werden. Diese Ziel-Mittel-Hierarchie wollen wir in den folgenden Ausführungen skizzieren.

Wir gehen von der Renditemaximierung als systematischem Ausgangspunkt in einer kapitalistischen Marktwirtschaft aus.²² Dieses grundsätzliche Ziel kann mit weiteren Teilaspekten konkretisiert werden, beispielsweise

²¹ Aus diesem Grund werden wir in unseren Ausführungen die Worte "Strategie" und "strategische Ziele" synonym verwenden.

²² Zur Präzisierung der Renditeoptimierung im Rahmen der Shareholder Value-Ansätze vgl. unten Kapitel 3. Wir können und wollen hier nicht die umfassenden Debatten zu den grundlegenden Zielsetzungen von Unternehmen aufnehmen. Nur zwei Aspekte seien kurz angesprochen: (1) Nicht ökonomische, insbesondere ethische Ziele der Unternehmen können als Korrektiv der marktwirtschaftlich agierenden Unternehmen verstanden werden und stellen damit

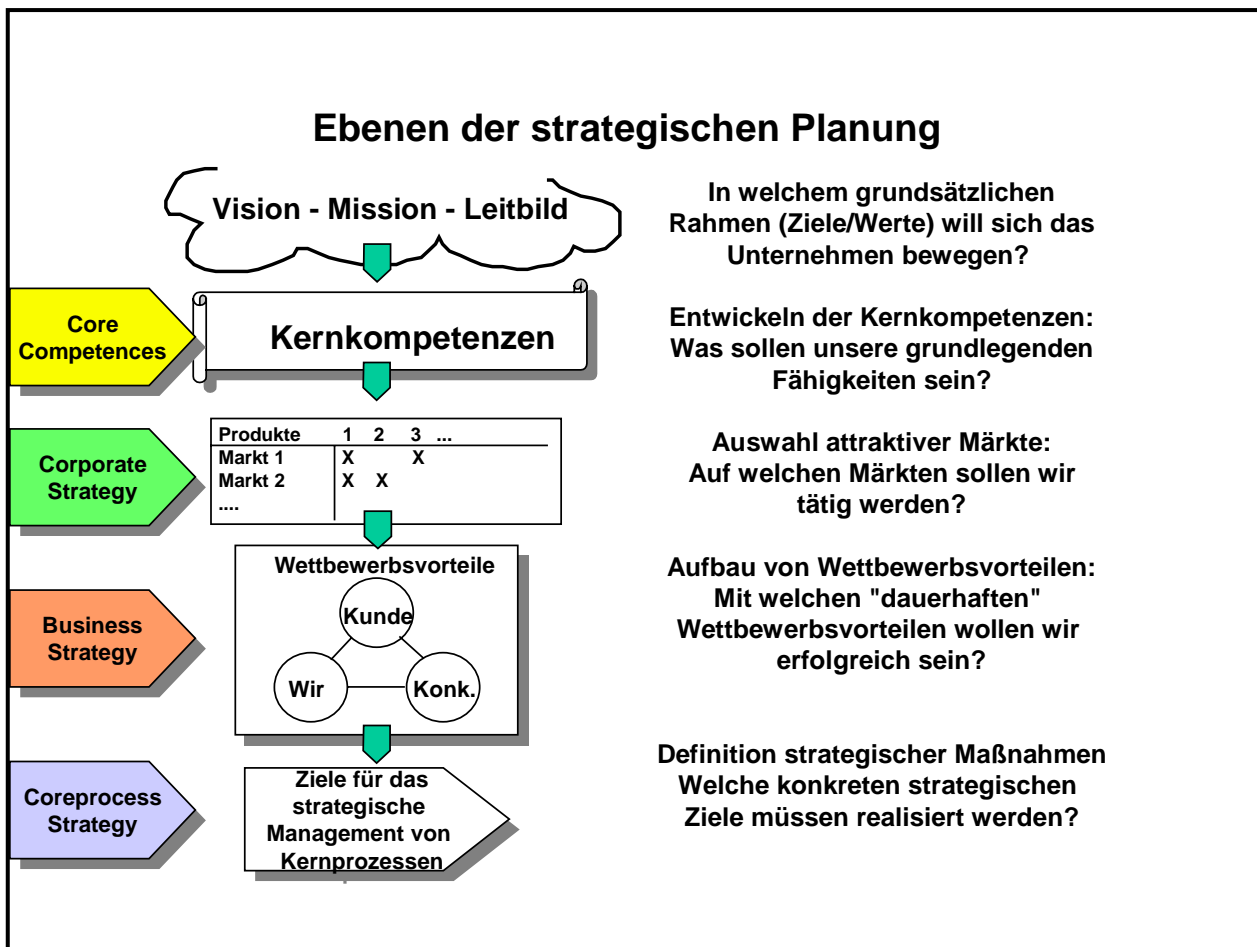


Abbildung 3: Ebenen der Strategie

se Gewinn-, Umsatz- oder Kostenerwartungen. Derartige rein finanzwirtschaftliche Zielkategorien gelten unabhängig vom Geschäft des Unternehmens, d.h. gleichermaßen für das High-Tech-Unternehmen wie für eine Marmeladenfabrik. Sie werden üblicherweise als Formalziele bezeichnet.

In der Strategie wird nun aufgezeigt, mit welchen (Markt-)Leistungen die formalen Unternehmensziele erreicht werden sollen. Hier wird eine Marmeladenfabrik andere Wege wählen als das High-Tech-Unternehmen. Ja sogar die einzelnen Marmeladenfabriken werden ihren Erfolg gerade dadurch begründen, dass sie sich von den Konkurrenten differenzieren. Die Wege der Formalzielerfüllung lassen sich als Sachziele formulieren. In der Strategie sind also die grundlegenden Sachziele des Unternehmens zusammengefasst.

Dieser noch sehr abstrakte Gedanke soll im nächsten Schritt mit Hilfe einer Systematisierung der wesentlichen Aufgabenbereiche der Strategie konkretisiert werden (vgl. Abbildung 3).²³

die Renditeorientierung nicht prinzipiell in Frage. Vgl. Steinmann, Schreyögg (Management) S. 71 ff. (2) Das langfristige Überleben des Unternehmens als Ausgangspunkt zu wählen, führt in einer kapitalistischen Marktwirtschaft notwendiger Weise auch zu einer Renditeorientierung, die allerdings ggf. durch "private" Ziele (z.B. Familientradition) oder mangelnde Effizienz (es genügt ja, eine überlebensfähige Position zu halten) überformt sein kann.

²³ Steinmann, Schreyögg (Management) S. 151 ff.

(1) In der Vision, der Mission und dem Leitbild des Unternehmens erfolgt eine erste noch sehr allgemein gehaltene inhaltliche Konkretisierung insofern, dass eine sinnstiftende, motivierende und handlungsleitende Leitidee sowie der grundsätzliche Rahmen der Geschäftstätigkeit definiert wird.²⁴ Insbesondere wird damit festgelegt, welche (zukünftigen) Geschäftsfelder überhaupt von strategischem Interesse sind. Beispielsweise wird BMW nicht näher prüfen, ob Babywindeln produziert werden sollen, selbst dann nicht, wenn diese ein renditeträchtiges Geschäft erwarten ließen.

(2) Auf Ebene der Kernkompetenzen (Core competences) werden die grundsätzlichen Fähigkeiten des Unternehmens festgelegt.²⁵ Hierbei können Kernkompetenzen²⁶ technisch (Beispiel: Beherrschung der Lasertechnologie), marktlich (Beispiel: Fähigkeit, Marktstandards zu setzen) oder organisatorisch (Beispiel: Überragendes Projektmanagement komplexer Kundenprojekte) begründet werden. Eine geschickte Wahl und eine systematische Entwicklung von Kernkompetenzen - so die Grundidee des Kernkompetenzmanagements - führen zu einem marktorientierten Bündel von vier bis sechs Kernkompetenzen. Diese können in bestehenden Märkten zu Wettbewerbsvorteilen umgesetzt werden. Bei neuen Marktchancen können die bestehenden Kernkompetenzen aktiviert werden und führen damit zu einer gegenüber den Wettbewerbern schnellen und überlegenen Markterschließung. In dynamischen Märkten werden überhaupt nur die Unternehmen erfolgreich neue Marktchancen nutzen können, die über die hierzu benötigten Kernkompetenzen verfügen. Hamel / Prahalad vergleichen das Kernkompetenzmanagement mit einem Marathonlauf. Die Wettbewerbsstrategie, also der Wettbewerb um Marktanteile und Marktposition, entspricht dabei den letzten 100 Metern²⁷ Als Beispiel dient der Markt für digitale Fotografie: Zum Zeitpunkt als die Marktchancen zu erkennen waren, waren "unvorbereitete" Unternehmen bereits ohne Erfolgsaussichten. Hieraus folgt für das Kernkompetenzmanagement, dass ein Bündel von Kompetenzen entwickelt werden muss, das einen Zugang zu vielen zukünftigen Märkten ermöglicht, für die Kunden Nutzen stiftend und für die Wettbewerber schwer nachahmbar ist.²⁸

(3) Die zentrale Fragestellung der Unternehmensstrategie (Corporate strategy) zielt auf die Wahl und Entwicklung der strategischen Geschäftsfelder²⁹ des Unternehmens.³⁰ Hierzu muss erstens die Attraktivität der einzelnen strategischen Geschäftsfelder beurteilt werden. Als Konsequenz kann sich beispielsweise der Rückzug aus einem unattraktiven Markt, der Markteintritt in neue attraktive Geschäftsfelder oder die Erweiterung um neue Produkt-Markt-Felder ergeben. Zweitens wird das Zusammenwirken der verschiedenen strategischen Geschäftsfelder optimiert. Wesentliche Ansatzpunkte sind die Ausrichtung der Geschäftsfelder auf ein ausgewähltes Bündel an Kernkompetenzen, die Risikostreuung zwischen Geschäftsfeldern mit unterschiedlichen Konjunkturzyklen oder der Cash-Flow-Ausgleich zwischen dynamisch wachsenden und reifen Geschäftsfeldern. Drittens zählt die Realisierung von Synergien zwischen den Geschäftsfeldern, z.B. durch Bündelungsvorteile im Einkauf oder durch die Nutzung eines gemeinsamen Vertriebsnetzes, zu den Aufgaben der Unternehmensstrategie.

(4) Die Wettbewerbsstrategie (Business strategy, auch Geschäftsfeldstrategie genannt) zielt auf die Entwicklung und Aufrechterhaltung dauerhafter Wettbewerbsvorteile innerhalb eines strategischen Geschäftsfeldes. In den Klassikern "Wettbewerbsvorteile" und "Wettbewerbsstrategie" von Michael E. Porter³¹ werden die Hebel zur Entwicklung strategischer Wettbewerbsvorteile differenziert beschrieben. Zum einen gilt es die grundsätzliche Kostenposition sowie die Differenzierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu optimieren. Zum anderen muss auf die Branchenstruktur - je nach eigenem Gestaltungspotenzial - aktiv eingewirkt oder passiv

²⁴ Müller-Stewens, Lechner (Management) S. 174 ff.

²⁵ Zum Konzept des Kernkompetenzmanagements vgl. Prahalad, Hamel (Core competence), Hamel, Prahalad (Wettlauf) bzw. zur Diskussion des Konzeptes sowie zum Verhältnis zwischen dem Resourced-based View der Strategielehre und dem Kernkompetenzmanagement vgl. Hümmel (Kernkompetenzen).

²⁶ Zum Begriff der Kernkompetenzen vgl. Hümmel (Kernkompetenzen) S. 80 ff.

²⁷ Hamel, Prahalad (Wettlauf) S. 278 f.

²⁸ Vgl. Prahalad, Hamel (Core competence).

²⁹ Zur Geschäftsfeldsegmentierung vgl. Müller-Stewens, Lechner (Management) S. 114 ff.

³⁰ Angemerkt sei, dass die Sinnhaftigkeit unternehmensstrategischer Überlegungen auf Basis kapitalmarkttheoretischer Überlegungen in Frage gestellt wird und umfangreiche Divestmentstrategien empfohlen werden. Die entscheidende Frage ist, ob Kapitalmärkte effizienter die Ressourcenallokation vornehmen können als die Unternehmensspitze großer Konzerne. Seit dem Einbruch des neuen Marktes ist es allerdings um die radikale Infragestellung der Unternehmensstrategie etwas ruhiger geworden.

³¹ Porter (Wettbewerbsvorteile) und Porter (Wettbewerbsstrategie).

reagiert werden. Die Verringerung der Verhandlungsmacht der Lieferanten ist hierbei einer der fünf Treiber der Marktstruktur.

(5) Mit der Entwicklung von Kernkompetenzen, der Gestaltung des Geschäftsfeldportfolios und dem Aufbau und Erhalt von dauerhaften Wettbewerbsvorteilen in den einzelnen Geschäftsfeldern sind die primären Gestaltungsfelder der Strategie skizziert. Im Rahmen der oben angesprochenen Ziel-Mittel-Hierarchie müssen diese primären Strategien weiter konkretisiert werden. Häufig wird die nächste Konkretisierungsstufe als Funktionalstrategien, z.B. Vertriebs-, Produktions-, Einkaufsstrategie, bezeichnet.³² Da sich mittlerweile das prozessorientierte Denken in der Unternehmenspraxis umfangreich durchgesetzt hat,³³ schlagen wir vor, die Konkretisierung der Strategie auch prozessorientiert voranzutreiben. Insofern sprechen wir statt von Funktionalstrategien von Kernprozessstrategien. Orientiert man sich an einem generischen Prozessmodell des Unternehmens, lassen sich der Geschäftsführungsprozess (bzw. Managementprozess), der Entwicklungsprozess sowie der Geschäftsprozess (Leistungserstellung des Unternehmens) unterscheiden. Der Geschäftsprozess kann beispielsweise nochmals in den Vertriebs-, Versorgungs-, Produktions- und Distributionsprozess unterteilt werden.

Auch wenn die Prozessbezeichnungen sehr ähnlich wie die Funktionsbezeichnungen klingen, kann die Bedeutung des Unterschiedes kaum überschätzt werden. Im Rahmen der Funktionalstrategie entwickelt beispielsweise die Einkaufsabteilung grundlegende Vorgehensweisen in Bezug auf den eigenen Verantwortungsbereich. Eine einseitige Konzentration auf den Einkaufspreis und mangelnde Total-Cost-of-Ownership-Überlegungen sind ein prominentes Beispiel für eine fehlgeleitete Funktionalstrategie. Im Rahmen einer Kernprozessstrategie des Beschaffungsprozesses wird eine Optimierung entlang der ganzen Prozesskette, also beispielsweise auch der logistischen Konsequenzen sowie der Konsequenzen im Engineering, berücksichtigt.

*Frage 1.*³⁴

Wie können Kernprozessstrategien, insbesondere Beschaffungsprozessstrategien im (funktionalen) Unternehmen organisatorisch verankert werden?

In den jeweiligen Kernprozessstrategien werden nun die Konsequenzen der Kernkompetenz-, Unternehmens- und der Wettbewerbsstrategie für den entsprechenden Kernprozess konkretisiert. Auch die Kernprozessstrategien haben langfristig investiven Charakter, so dass wir sie dem Bereich der Strategie zurechnen wollen.³⁵

Der uns besonders interessierende Beschaffungsprozess kann als der Teil des Geschäftsprozesses verstanden werden, der für die Versorgung des Unternehmens mit Materialien und Dienstleistungen verantwortlich ist.³⁶ Der Prozess beginnt nach der Identifikation des Bedarfs, ggf. mit der Konkretisierung des Bedarfs und endet nach dem Wareneingang bzw. nach der Zahlung der Lieferantenrechnung. Auf die Gestaltungsfelder im Rahmen der Beschaffungsprozessstrategie (folgend kurz: Beschaffungsstrategie) werden wir in Kapitel 6 ausführlich eingehen.

³² Vgl. Hofer, Schendel (Strategy formulation) S. 29; vgl. auch Hungenberg (Management) S. 15.

³³ Bereits das Wertkettenkonzept von Porter weist in die Richtung einer prozessorientierten Strukturierung der nächsten Konkretisierungsstufe der Strategie. Vgl. Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 59 ff.

³⁴ Es wird an unsere Intention erinnert, den Forschungsbedarf im Rahmen der Konzeptionalisierung von Beschaffungsstrategien zu konkretisieren. Wir nummerieren die sich ergebenden Forschungsfragen und heben Sie mit Hilfe von Rahmen hervor.

³⁵ Die Grenzziehung von Hungenberg (Management) S. 15, der Funktionalstrategien nicht der Strategie zurechnen möchte, wirkt nur schwach begründet. Die Tragweite mancher Funktionalstrategie (z.B. Aufbau eines Produktionsnetzwerkes) darf nicht unterschätzt werden.

³⁶ Die Versorgung des Unternehmens mit Investitionsgütern werden wir aus Vereinfachungsgründen nicht näher thematisieren. Die Versorgung des Unternehmens mit Mitarbeitern sowie mit Finanzressourcen, was gelegentlich auch dem Beschaffungsprozess zugeordnet wird, erfordert unseres Erachtens völlig andere Prozesse und soll deshalb nicht näher betrachtet werden.

2.2 Prozessuales Rahmenkonzept zur Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien

Nach der Klärung des Strategiebegriffes wird im folgenden Abschnitt unser Prozessschema zur Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien vorgestellt. Dieses steht in der Tradition der Prozessansätze im strategischen Management³⁷ und wird für die Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien adaptiert.

Die Grundidee der Prozessansätze im strategischen Management basiert auf der Einzigartigkeit einer Strategie. Nur wenn sich die Strategie hinreichend deutlich von den Strategien der Wettbewerber unterscheidet, kann das Unternehmen ein eigenständiges Profil aufbauen, sich hinreichend von den Wettbewerbern abheben und Wettbewerbsvorteile entwickeln. Aufgrund dieser Basisannahme können keine von der spezifischen Handlungssituation des Unternehmens unabhängigen Strategieempfehlungen gegeben werden. Eine grundsätzliche Empfehlung wäre ja gerade dadurch, dass sie von einer Vielzahl von Unternehmen befolgt würde, zum Scheitern verurteilt.

In den Prozessansätzen des strategischen Managements wird deshalb ein formales Vorgehensmodell bereitgestellt, das eine systematische Ableitung und Umsetzung einer Strategie unterstützt. Üblicherweise werden hierbei folgende Schritte unterschieden³⁸ (Vgl. Abbildung 4):

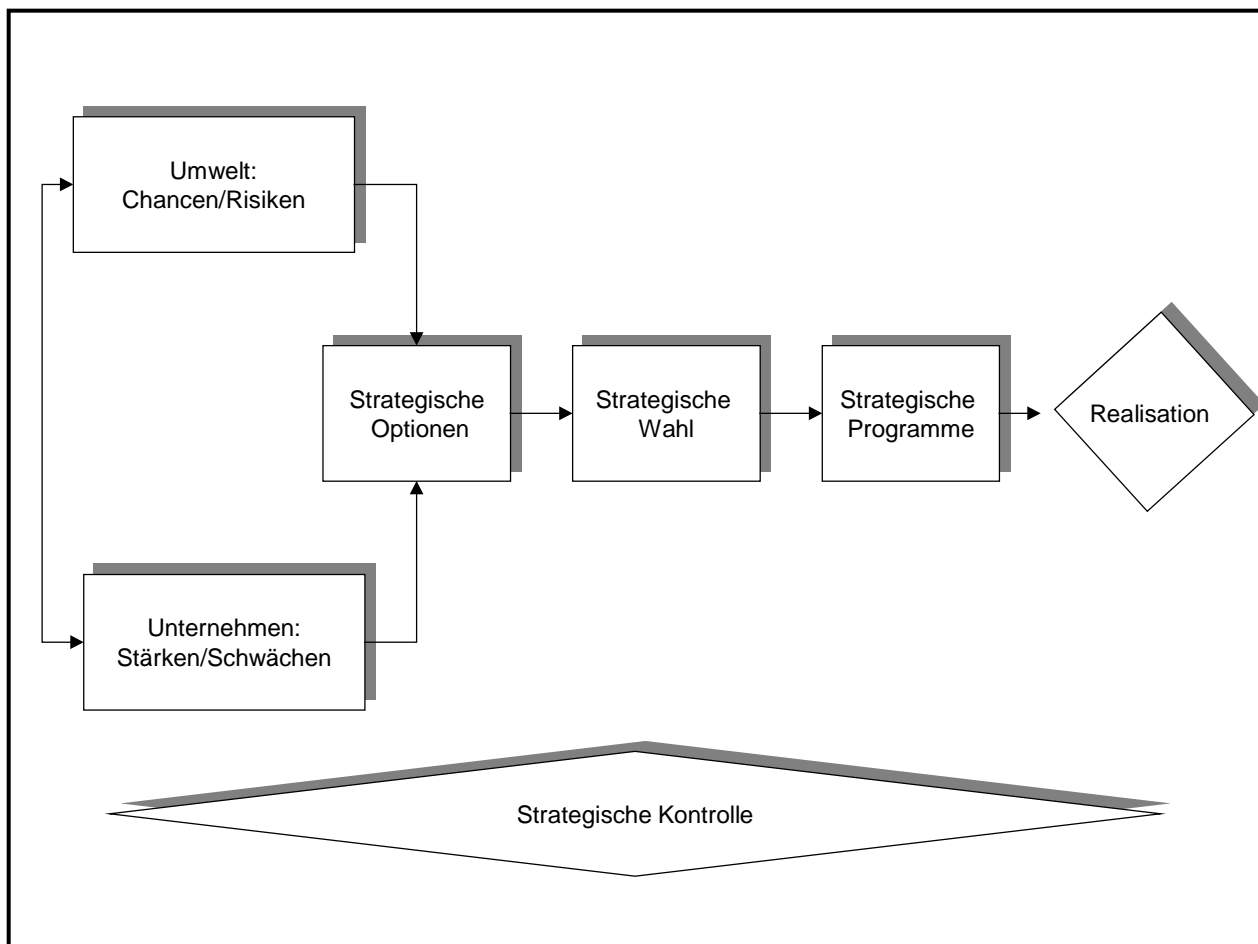


Abbildung 4: Schematische Darstellung des strategischen Managementprozesses
Quelle: Steinmann, Schreyögg (Management) S. 155.

³⁷ Vgl. Schreyögg (Unternehmensstrategie) S. 77 ff.

³⁸ Steinmann, Schreyögg (Management) S. 154 ff.

In der strategischen Analyse werden die Chancen und die Risiken der Unternehmensumwelt sowie die Stärken und Schwächen des Unternehmens relativ zu den Wettbewerbern untersucht. Hieraus ergeben sich strategische Optionen, die bewertet und selektiert werden müssen (strategische Wahl). Bei der Konkretisierung der gewählten Strategie in strategischen Programmen schlagen wir - wie oben bereits ausgeführt - eine Strukturierung nach den Kernprozessen (z.B. Beschaffungsprozess) vor. Die Realisierung und die begleitende strategische Kontrolle sorgen für die Umsetzung in einem komplexen und dynamischen Umfeld.

Die Prozessansätze im strategischen Management strukturieren das strategische Handlungsfeld, bleiben jedoch grundsätzlich formal-analytisch und deduktiv. In der praktischen Umsetzung kommt nun aber gerade dem heuristischen Erfahrungswissen eine hohe Bedeutung zu, d.h. beispielsweise Hinweisen, welche Faktoren im Rahmen einer Umweltanalyse besonders beachtenswert bzw. welche Vorgehensweisen in einer spezifischen Situation besonders Erfolg versprechend sind. So werden Prozessansätze mit empirisch gehaltenen Checklisten oder heuristischen Methoden angereichert. Das Verhältnis von formal-analytischen Aussagen und inhaltlicher Anreicherung soll am Beispiel des bekannten Strategiemodells von Michael E. Porter verdeutlicht werden.³⁹

Porter startet analytisch und entwickelt die generischen Strategien der Differenzierung und der Kostenführerschaft. Diese lassen sich formal über die Optimierung des Preis-Leistungs-Kalküls, das für Märkte konstitutiv ist, begründen. Entsprechend gering ist auch der Erkenntnisgewinn für die Unternehmenspraxis. Die hierauf aufbauende empirische Aussage, sich radikal der einen oder der anderen Strategie zu verschreiben, ist nicht nur heftig umstritten, sondern regt zum Nachdenken und ggf. zum Nacheifern an. Noch intensiver reichert Porter sein Konzept im weiteren Vorgehen mit der Aufzählung von "zehn wichtigen" Kostenantriebskräften (beispielsweise größenbedingte Kostendegression, Erfahrungskurveneffekte, Struktur der Kapazitätsauslastung, Verknüpfungen, Verflechtungen) empirisch an. Dabei erhebt er weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch darauf, dass jede der zehn Kräfte für jedes Unternehmen relevant ist. Vielmehr gibt Porter nur checklistenartige Hinweise, auf welche Aspekte besonders zu achten ist.⁴⁰

Die Prozessansätze im strategischen Beschaffungsmanagement bleiben meist sehr formal ohne explizite Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen der Beschaffung.⁴¹ Vielmehr werden meist der allgemeine Strategieprozess und allgemeine Methoden im strategischen Management vorgestellt.⁴² Gelegentlich wird der Prozess der Entwicklung einer Beschaffungsstrategie parallelisiert und mit Beispielen aus dem Beschaffungsumfeld illustriert.⁴³ Die beiden unseres Erachtens am weitesten entwickelten Ansätze von Koppelman und Krampf sollen im Folgenden kurz skizziert werden, bevor wir dann unseren Ansatz vorstellen.⁴⁴

Koppelman strukturiert den Kern seines Standardwerkes "Beschaffungsmarketing"⁴⁵ nach dem Beschaffungsprozess (vgl. Abbildung 5). Hierbei zielt Koppelman nicht auf den Prozess zur Entwicklung einer Beschaffungsstrategie und von Materialfeldstrategien, sondern positioniert den Beschaffungsprozess aus Marktsicht. Das zentrale Kapitel ist mit dem Titel "Der Beschaffungsmarketingprozess" überschrieben.⁴⁶

³⁹ Porter (Wettbewerbsvorteile).

⁴⁰ Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 103 ff.

⁴¹ Zur Einordnung der Portfolioansätze vgl. Kapitel 7.

⁴² Vgl. beispielsweise Quervain, Wagner (Strategiefindung).

⁴³ Vgl. Saunders (Strategic), Lysons (Purchasing) S. 23 ff., Baily u.a. (Purchasing) 32 ff., Bloech (Beschaffungsstrategien).

⁴⁴ Interessant ist ferner das Modell von Lieberum (4-Ebenen-Modell), bei dem allerdings eher die Sourcing-Konzepte dominieren. Aus diesem Grund stellen wir das Modell an der entsprechenden Stelle in Kapitel 6 vor.

⁴⁵ Koppelman (Beschaffungsmarketing).

⁴⁶ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 83 ff.

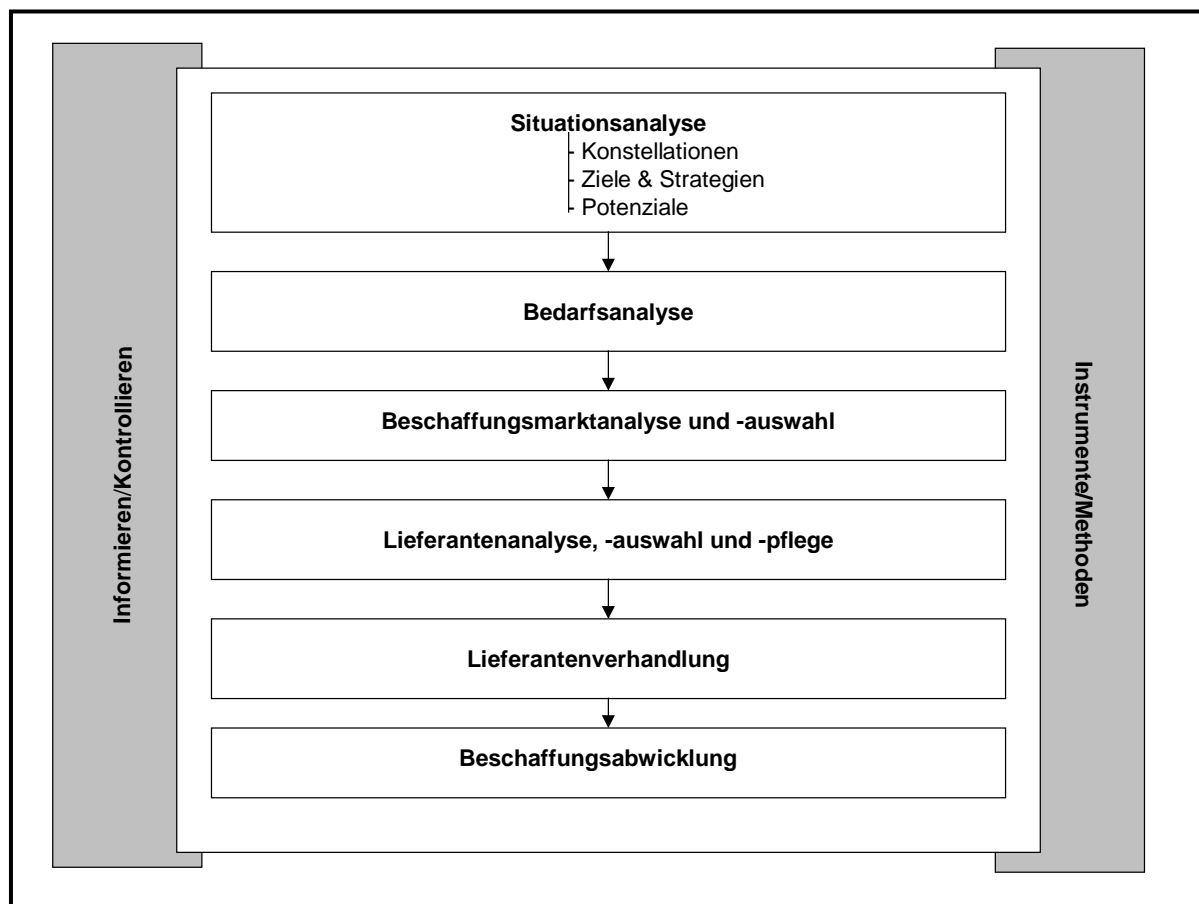


Abbildung 5: Der Beschaffungsprozess nach Koppelman
Quelle: Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 42.

- In der Situationsanalyse wird zunächst die Beschaffungskonstellation betrachtet. Unter einer Beschaffungskonstellation versteht Koppelman wesentliche Entwicklungen im Beschaffungs- bzw. Absatzmarkt sowie im Unternehmensumfeld bzw. im Unternehmen, die nach Handlungskonsequenzen verlangen.⁴⁷ Anschließend werden die Beschaffungsziele und Beschaffungsstrategien abgeleitet. Unter Beschaffungsstrategien versteht Koppelman "als durch eine inhaltliche Klammer zusammengehaltene Bündel von Beschaffungsmaßnahmen."⁴⁸ Sie korrespondieren mit den Beschaffungszielen. Beispielsweise fasst Koppelman Entwicklungskooperationen, Modular Sourcing usw. als Produktstrategien der Beschaffung zusammen. Interessant ist der anschließende Kompatibilitätstest zwischen Beschaffungsstrategie und Absatzmarktstrategie.
- Mit der Situationsanalyse wird also der strategische Rahmen für den folgenden eher operativ gedachten Beschaffungsprozess festgelegt. Dieser vollzieht sich in fünf Schritten: In der Bedarfsanalyse werden beispielsweise die Bedarfsanforderungen näher bestimmt bzw. Outsourcingfragen behandelt. In der anschließenden Marktanalyse und -auswahl stehen Methoden der Beschaffungsmarktanalyse sowie Fragen der internationalen Länderauswahl im Mittelpunkt der Betrachtung. Im dritten Schritt wird das Lieferantenmanagement prozessorientiert entwickelt. In den Lieferantenverhandlungen und der Beschaffungsabwicklung werden schließlich Umsetzungsaspekte diskutiert.

Aufgrund der Marketingzielsetzung von Koppelman tritt die Strategiesicht an die Peripherie. Dies führt zu einer differenzierten Beurteilung. Zum einen finden sich interessante und umfassend ausformulierte Modelle im Rahmen der Unternehmens- und Umweltanalyse sowie von beschaffungsstrategischen Handlungsoptionen,

⁴⁷ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 87 ff.

⁴⁸ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 123.

auf die wir in den folgenden Kapiteln Bezug nehmen werden. Zum anderen bleiben folgende wesentliche Fragen offen:

- Der Leitgedanke von Koppelman zielt auf den singulären Beschaffungsprozess. Übergreifende strategische Überlegungen, die ja gerade eine vom einzelnen Beschaffungsvorgang unabhängige Orientierung bieten wollen, werden damit nur indirekt in der Situationsanalyse behandelt. Insgesamt bleibt der Vorsteuerungscharakter der Beschaffungsstrategie eher vage.
- So erfolgt auch keine klare Trennung zwischen der Materialfeldstrategie und dem operativen Beschaffungsprozess. In der Konsequenz werden vielfältige Aspekte mit erheblicher strategischer Relevanz, wie beispielsweise Outsourcing oder Global Sourcing, innerhalb der operativen Beschaffung abgehandelt. Hingegen fehlen im Rahmen der Strategie umfangreiche Analyseelemente, wie beispielsweise eine detaillierte Bedarfs- und Marktanalyse.
- Die Strukturierung der Beschaffungsaktivitäten im Unternehmen nach Materialfeldern, für die jeweils eigenständige Beschaffungsstrategien ausgearbeitet werden müssen, wird nicht explizit angesprochen. So wird auch der Zusammenhang zwischen den Materialfeldstrategien und der unternehmensweiten Beschaffungsstrategie nicht thematisiert. Vielmehr bleibt das Verhältnis dieser beiden Betrachtungsebenen unklar.
- Die Strategieumsetzung wird nicht explizit behandelt. Koppelman lässt die Strategie vielmehr im operativen Beschaffungsprozess aufgehen.
- Ferner fehlen Aspekte der strategischen Kontrolle.

Ein zweites interessantes Modell für den strategischen Beschaffungsprozess findet sich bei Krampf.⁴⁹ Aufgrund der hohen Komplexität im strategischen Beschaffungsmanagement schlägt Krampf statt einer Simultanplanung ein hierarchisch gestuftes Planungssystem vor (Abbildung 6):

- In der ersten Stufe werden die Produkte in einzelne Module zerlegt, für die dann im weiteren Vorgehen eine Beschaffungsstrategie entwickelt werden soll.
- Im zweiten Schritt wird mit Hilfe des Konzeptes der Kernkompetenzen entschieden, welche Module gefertigt bzw. welche zugekauft werden sollen. Die ersten beiden Analyseschritte werden als einmaliger Vorgang verstanden, während die folgenden Aktivitäten als kontinuierlicher Ablauf der in der Beschaffungsstrategie berücksichtigten Bauteile gesehen werden.
- In der dritten Stufe werden die relevanten Beschaffungsmärkte global analysiert. Zur Auswahl der in die Betrachtung eingehenden Bauteile schlägt Krampf die ABC- und XYZ-Analyse vor.
- Im vierten Schritt wird die Wahl der Beschaffungsregion untersucht. Insbesondere werden die Alternativen globale und lokale Beschaffung miteinander verglichen.
- Im fünften Schritt wird für Kaufteile die optimale Lieferantenzahl festgelegt. Dabei wird insbesondere ein Vergleich zwischen Single und Multiple Sourcing vorgenommen.
- Im abschließenden sechsten Schritt erfolgen die Lieferantenauswahl und die Festlegung der Art der Zusammenarbeit.

⁴⁹ Krampf (Beschaffungsmanagement), insbesondere S. 122 ff. Vgl. zur methodischen Vorgehensweise auch die Modelle von Kaufmann (Internationalisierung) und Wolters (Modul- und Systembeschaffung) sowie die Diskussion bei Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 107 ff.

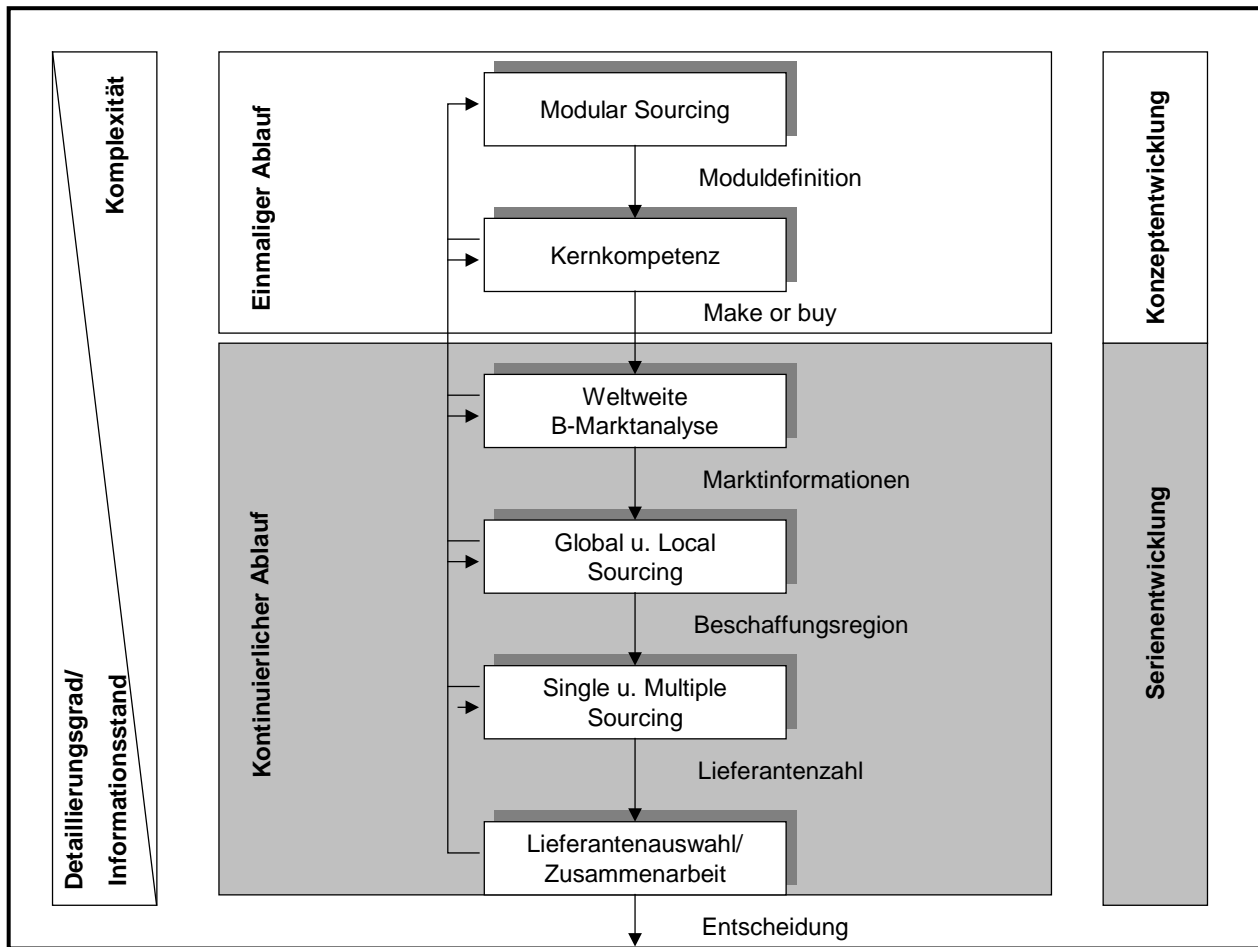


Abbildung 6: Der hierarchische Beschaffungsprozess nach Krampf
 Quelle: Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 123.

Krampf gelingt es in dreifacher Weise, sein Prozessmodell zum strategischen Beschaffungsmanagement inhaltlich anzureichern: (1) Über die Auswahl von besonders bedeutsamen Entscheidungsfeldern und (2) der hierarchischen Stufung der Abarbeitung werden den strategischen Einkäufern empirisch gehaltvolle Handlungsempfehlungen gegeben. (3) Ferner versucht Krampf für die einzelnen Entscheidungsfelder Erfahrungswissen bereitzustellen. Bei aller Würdigung der originellen methodischen Grundidee bleiben allerdings wesentliche Fragestellungen offen:

- Die ersten drei Fragen beziehen sich auf die Reichweite des Modells. So bleibt die Frage der Integration der Materialfeldstrategie in die Unternehmensstrategie praktisch unbehandelt.⁵⁰
- Ebenso werden im Prozessmodell Umsetzungsaspekte, z.B. Methoden zur Implementierung und zur strategischen Kontrolle der Beschaffungsstrategien, nicht behandelt.
- Reduktionistisch erscheint auch die ausnahmslose Konzentration auf die Ebene der Materialfeldstrategien. Diese stellen - wie unten gezeigt wird - zwar den Kern der Beschaffungsstrategien dar. Trotzdem müssen die einzelnen Materialfelder gemeinsam ausgerichtet werden.
- Aufgrund des Branchenbezugs auf die Automobilindustrie wird als grundsätzlicher Ausgangspunkt der Betrachtung die Modularisierung der Fahrzeuge gewählt. Für die einzelnen Module werden letztlich Materialfeldstrategien entwickelt. Die Frage nach der Definition von Materialfeldern bzw. von Beschaffungsmärkten

⁵⁰ Die allgemeinen Ausführungen zum strategischen Management werden im Modell nicht explizit aufgenommen vgl. z.B. Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 16 ff.

gerät so aus dem Fokus. Dies schränkt nicht nur die Übertragbarkeit auf andere Branchen ein, sondern wird auch insofern für den Gedankengang von Krampf problematisch, da er im Gegensatz zu seiner Basisannahme feststellt, " dass für die Modularisierung bisher nur sehr wenige Lieferanten geeignet sind."⁵¹ Inwieweit die folgenden Aussagen auch für Unternehmen ohne modularisierbare Produkte gelten, wird nicht näher thematisiert.

- Die Einordnung der Beschaffungsmarktanalyse nach der Entscheidung über die Modularisierung sowie über Make-or-Buy erscheint fraglich. Entscheidungen von dieser Tragweite sollten auf fundierten Informationen beruhen.
- Letztlich lässt die Ausdifferenzierung der einzelnen Entscheidungsfelder verschiedene Fragen offen. Beispielsweise konzentrieren sich die materialfeldbezogenen Strategien stark auf das Lieferantenmanagement,⁵² so dass die materialfeldbezogene Gestaltung der Versorgungsprozesse (z.B. per Just in Sequence) aus dem Blick gerät. Die Ausdifferenzierung der Umweltanalyse stellt ein zweites Beispiel dar. Bei der Frage nach der Fertigungstiefe - um ein drittes Beispiel zu nennen - wird nicht nach dem Grad der Fertigungstiefe bei einzelnen Komponenten gefragt. Sollen beispielsweise ganze Sitzgruppen oder einzelne Sitze gekauft werden? Oder sollen einzelne Sitzmodule bezogen und selbst montiert werden? Oder soll gar auf Ebene einzelner Bauteile der Zukauf erfolgen?

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass trotz interessanter Ansätze kein umfassendes und hinreichend auf die Beschaffungssituation zugeschnittenes Prozessmodell für das strategische Beschaffungsmanagement existiert. Ein solches Modell zu entwickeln, wird noch umfangreiche Forschungsbemühungen verlangen (Forschungsleitfrage 2).

Frage 2:

Wie werden die Beschaffungsstrategie und die Materialfeldstrategien (gleichzeitig) aus den Kernkompetenzmanagement, den Unternehmensstrategien und den Geschäftsfeldstrategien abgeleitet?⁵³

Unser im Folgenden knapp skizziertes Prozessschema zur Formulierung und Umsetzung von Beschaffungsstrategien (Abbildung 7) dient als Rahmen für weitere Forschungsbemühungen. Am Aufbau unseres Prozessschemas orientiert sich auch die Struktur dieses Artikels:

Die Beschaffungsmärkte eines Unternehmens weisen häufig stark unterschiedliche Branchenstrukturen auf und sind weitgehend unabhängig voneinander. So können und müssen für alle wesentlichen Materialfelder jeweils eigenständige Materialfeldstrategien entwickelt werden. Diese müssen zwar auf die Strategie des Unternehmens hin ausgerichtet werden, bleiben aber aufgrund der jeweiligen Beschaffungsmarktstruktur weitgehend unabhängig. Die Materialfeldstrategien werden damit unseres Erachtens zum Nukleus der Beschaffungsstrategie. Die Bedeutung einer materialfeldorientierten Vorgehensweise, die cross-funktional nach Gestaltungs- und Optimierungspotenzialen in den einzelnen Materialfelder sucht, bringt Klein im Fazit zu einem umfassenden Turnaround-Programm der Siemens Transportation Systems auf den Punkt: Die Mitarbeiter haben die Materialkosten als Kostensenkungshebel entdeckt, was auch ein wichtiger Aspekt für die Zukunft von Transportation Systems ist. Das wird nicht zuletzt dadurch deutlich, dass immer öfter von dem "Ergebnisbeitrag aus Material" gesprochen wird im Gegensatz zum "Einkaufserfolg" wie in den Jahren zuvor.⁵⁴ In diesem Sinne wenden wir uns zunächst der Entwicklung von Materialfeldstrategien zu und gehen anschließend auf die Verknüpfung der Materialfeldstrategien zu einer gemeinsamen Beschaffungsstrategie ein.

⁵¹ Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 143.

⁵² Vgl. Beispielsweise Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 159.

⁵³ Vgl. Saunders (Strategic) S. 118 f. Saunders wirft die Frage auf, ohne allerdings konkrete Antworten zu geben.

⁵⁴ Klein (Beitrag) S. 991.

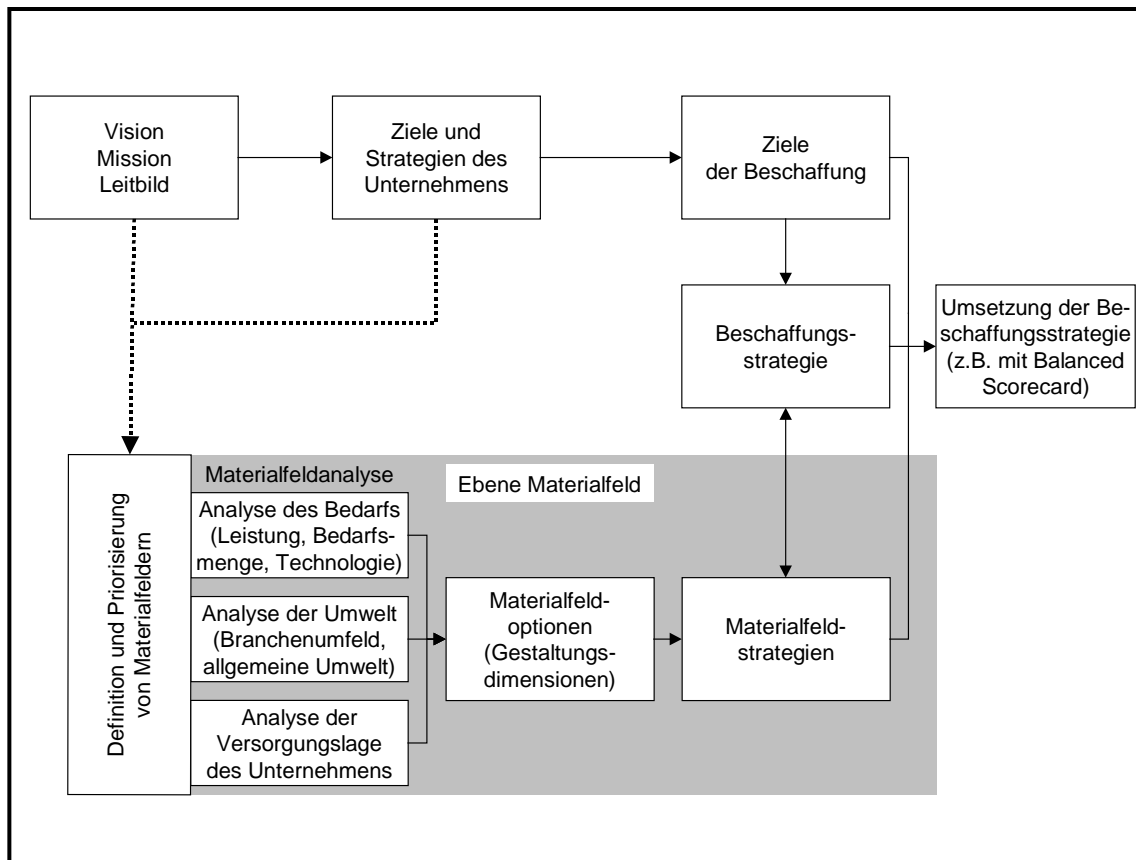


Abbildung 7: Prozessschema zur Formulierung und Implementierung von Beschaffungsstrategien

Die Ziele der Beschaffung und die Beschaffungsstrategie müssen sich - wie oben bereits ausgeführt - im Rahmen der Vision, der Mission und des Leitbildes bewegen und werden aus den Zielen und den Strategien des Unternehmens abgeleitet. Systematisch gesehen dienen die Ziele der Beschaffung als Maßstab zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit alternativer Beschaffungsstrategien. Der Doppelpfeil zwischen Beschaffungsstrategie und Materialfeldstrategien verdeutlicht, dass die Beschaffungsstrategie aus den Materialfeldstrategien resultiert und gleichzeitig die Klammer der Materialfeldstrategien darstellt. Die Zielsetzungen setzen ferner auch den Rahmen zur Priorisierung der einzelnen Materialfelder. (Kapitel 3).

Der Prozess zur Formulierung der Beschaffungsstrategie beginnt mit der Definition und der Priorisierung der relevanten Beschaffungsmärkte, für die jeweils eine Materialfeldstrategie entwickelt werden soll. (Kapitel 4).

Für die bedeutsamen Materialfelder wird im Rahmen der Materialfeldanalyse der Bedarf, die Umwelt und die Versorgungslage des Unternehmens analysiert. Hierbei stehen beim Bedarf nicht nur quantitative Bedarfszahlen, sondern auch die Spezifikationen und die technologische Entwicklung der Materialien im Fokus. Bei der Umweltanalyse muss sowohl das Branchenumfeld wie auch die allgemeine Umwelt betrachtet und auf ihre Konsequenzen für die Materialfeldstrategie untersucht werden. Im Rahmen der Analyse der Versorgungslage werden die aktuelle Beschaffungssituation, z.B. Lieferantenstruktur oder aktuelle Versorgungsprozesse, dargestellt. (Kapitel 5)

Auf dieser Basis können die Handlungsoptionen im Materialfeld analysiert werden. Hierzu entwickeln wir eine Systematik der Gestaltungsdimensionen und deren wesentlicher Ausprägungen innerhalb eines Materialfeldes. (Kapitel 6)

Im nächsten Prozessschritt müssen die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten zu einer integrierten Materialfeldstrategie konsolidiert werden. An dieser für das Beschaffungsmanagement so wichtigen Stelle werden wir verschiedene Vorgehensweisen in Praxis und Literatur (z.B. Portfolioansätze) skizzieren, diskutieren und dabei

einen erheblichen Forschungsbedarf konstatieren. Ferner wenden wir uns der Frage nach der Integration von Materialfeldstrategien in bzw. zu einer Beschaffungsstrategie zu. (Kapitel 7).

Zur Steuerung der Implementierung einer Beschaffungsstrategie und der Materialfeldstrategien erachten wir die Balanced Scorecard als geeignetes Instrument. Im Rahmen dieser Ausführungen werden wir uns allerdings auf die Strategieformulierung fokussieren.

3. Ziele der Beschaffung

Aus den Geschäftszielen und der Strategie des Unternehmens leiten sich die Ziele der Beschaffung ab. Diese stellen gleichermaßen den Maßstab zur Beurteilung der Beschaffungsstrategien wie auch der einzelnen Materialfeldstrategien dar. In nahezu allen Ausführungen zum Beschaffungsmanagement finden sich mehr oder minder umfangreiche Beschreibungen von möglichen Zielen der Beschaffung. Trotzdem muss der Systematisierungsgrad sowie die Verknüpfung zu den Zielen und den Strategien des Unternehmens als völlig unbefriedigend eingestuft werden.⁵⁵

Als typisch mag die Argumentation von Heinritz u.a. gelten:⁵⁶ "The purchasing objective is sometimes defined as buying materials of the right quality, in the right quantity, at the right time, at the right price, from the right source."⁵⁷ Problematisch bleibt, wie Heinritz u.a. selbst urteilen, allerdings die Frage danach, was "right" bedeutet. Dies führt bei Heinritz u.a. wie auch in vielen weiteren Diskussionen um die Ziele der Beschaffung zu einer meist unstrukturierten Aufzählung von Beschaffungszielen. Heinritz u.a. fahren fort: "The fundamental objectives of a purchasing department for a manufacturing firm may be summarized as follows: To maintain standards of quality in materials, based on suitability for use

1. To procure materials at the lowest cost consistent with the quality and service required
2. To maintain continuity of supply to support the manufacturing schedule
3. To do so with the minimum investment in materials inventory, consistent with safety and economic advantage
4. To avoid duplication, waste, and obsolescence with respect to materials
5. To maintain the company's competitive position in its industry and to conserve its profits, insofar as materials are concerned
6. To analyse and report on long-range availability and costs of major purchased items
7. To search the market continually for new and alternative ideas, products, and materials whose adoption might improve company efficiency and profitability."⁵⁸

Large fasst die vielfältigen Aussagen der Literatur zusammen und konstatiert, "dass die drei Beschaffungsziele "angemessene Qualität", "hohe Versorgungssicherheit" und "niedrige Beschaffungskosten" wohl in dieser Reihenfolge das Wirken im strategischen Beschaffungsmanagement bestimmen."⁵⁹ Koppelman ergänzt bei seiner Zusammenfassung der Beschaffungsliteratur noch eine vierte Kategorie von Beschaffungszielen die "Flexibilitäts- und Unabhängigkeitsziele".⁶⁰

Auch wenn unseres Erachtens diese Kategorien die Ziele im Beschaffungsmanagement treffend beschreiben, erscheint uns eine differenziertere Betrachtung, die zwischen Objekt- und Prozessebene unterscheidet, für das Beschaffungsmanagement hilfreich. Im nächsten Schritt soll unsere Systematik der Beschaffungsziele vorgestellt und konkretisiert werden. Anschließend wird die Beziehung zu den Unternehmenszielen hergestellt. Hierbei wird insbesondere der Beitrag der Beschaffung zum Shareholder Value am Beispiel des Modells von Rapaport skizziert. Auch in diesem Abschnitt geht es uns darum, innovative Ideen zu identifizieren, die noch zu validieren und zu präzisieren sind. Der Abschnitt endet mit den offenen Forschungsleitfragen.

⁵⁵ Vgl Large (Beschaffungsmanagement) S. 42 ff. Large bietet auch eine gute Übersicht über die Diskussion der Beschaffungsziele in der Literatur sowie über empirische Untersuchungen zu den Zielen des Beschaffungsbereiches.

⁵⁶ Heinritz u.a. (Purchasing) S. 10; vgl auch Baily u.a. (Purchasing) S. 17; Weele van (Purchasing) S. 20 ff. Vgl. auch die Zusammenstellung von Large (Beschaffungsmanagement) S. 44.

⁵⁷ Heinritz u.a. (Purchasing) S. 10.

⁵⁸ Heinritz u.a. (Purchasing) S. 10.

⁵⁹ Large (Beschaffungsmanagement) S. 43.

⁶⁰ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 107.

3.1 Prozessorientiertes Konzept der Beschaffungsziele

Im (generischen) Prozessmodell des Unternehmens dient der Beschaffungsprozess der Versorgung des Unternehmens mit Materialien und Dienstleistungen.⁶¹ Insofern können die Ziele in Bezug auf die Beschaffungsobjekte und in Bezug auf die Prozesse gegliedert werden. Unterscheidet man ferner zwischen Leistungs- und Kostenzielen ergibt sich unsere Zielmatrix mit den vier Feldern Objektqualität, Objektkosten (Materialkosten), Beschaffungsleistung, Beschaffungskosten (vgl. Abbildung 8).

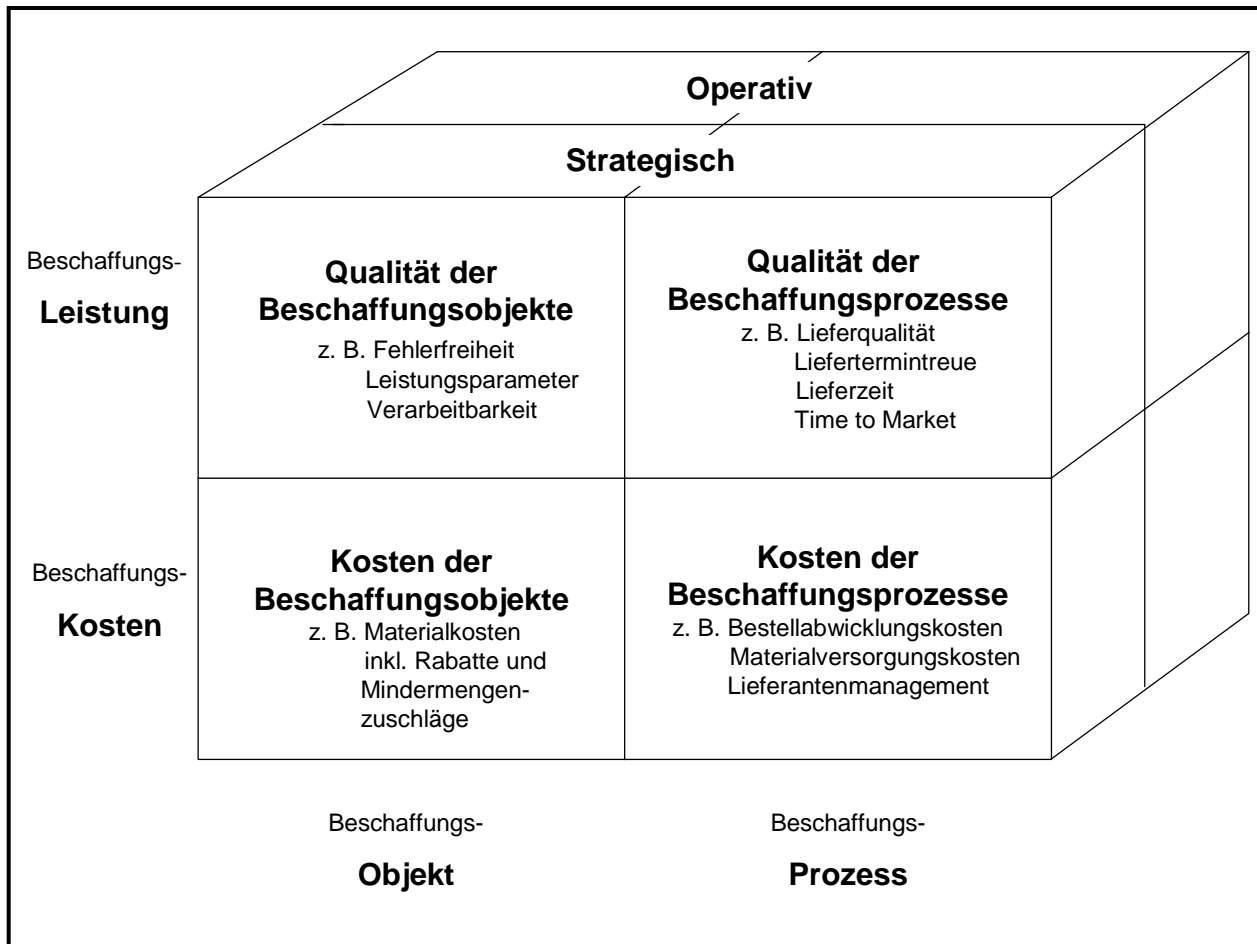


Abbildung 8: Ziele der Beschaffung

Im Folgenden werden wir die Leistungs- und die Kostendimension näher diskutieren. Dabei wollen wir zwischen strategisch und operativ ausgerichteten Zielen unterscheiden und dies anhand von Beispielen illustrieren. Strategische Ziele orientieren sich dabei - wie oben ausgeführt - an der Generierung und dem Erhalt von Erfolgspotenzialen, während operative Ziele die Ausschöpfung der Erfolgspotenziale anstreben.

Ferner ist bei den Prozesszielen zu beachten, dass die Beschaffungsprozesse auch wesentliche Wirkungen in anderen (nachfolgenden) Prozessen nach sich ziehen. Beispielsweise kann die Lieferantenfrüheinbindung die Entwicklungskosten oder die Entwicklungszeiten erheblich senken. Schlechte Lieferqualität oder Liefertermintreue führt zu Problemen in der Fertigung bzw. im Vertrieb. Somit können die Ziele im Beschaffungsprozess

⁶¹ Die Abgrenzung, welche Beschaffungsobjekte innerhalb der Beschaffung betrachtet werden sollen, spielt für die folgenden Betrachtungen keine Rolle. Beispielsweise können auch Energie oder Investitionsgüter in die Überlegungen mit einbezogen werden.

nach den Prozessen, in denen die Wirkung auftritt, strukturiert werden, also beispielsweise Wirkungen im Entwicklungsprozess, in der Fertigung, im Vertrieb. Auch die Differenzierung zwischen den verschiedenen Prozessen im Unternehmen, auf die sich die Beschaffung auswirkt, werden wir nur exemplarisch ausführen (vgl. Forschungsleitfrage 3).

3.1.1 Leistungsziele

(1) Die Qualität der Beschaffungsobjekte beschreibt die erste Zielkategorie. Unter Qualität wird der Grad verstanden, in dem die wesentlichen inhärenten Merkmale des Beschaffungsobjektes die Anforderungen der Stakeholder erfüllen.⁶² Stakeholder, deren Anforderungen für die Beschaffungsziele relevant sind, sind insbesondere die Kunden des Beschaffungsprozesses und letztlich die externen Kunden. Die verschiedenartigen Anforderungen unterschiedlicher Stakeholder werden in der Beschaffung gebündelt.

Beispiele für Qualitätsziele der Beschaffungsobjekte sind:

- Fehlerfreiheit der Beschaffungsobjekte: Übereinstimmung der Lieferung mit den Spezifikationen
- Leistungsparameter der Beschaffungsobjekte: Technische Leistungsfähigkeit, Haltbarkeit, ... Innovative Beschaffungsobjekte sind häufig durch überlegene Leistungsparameter gekennzeichnet.
- Eigenschaften der Verarbeitbarkeit: Leichte Montierbarkeit, Lagerbarkeit, Transportfähigkeit, Demontagefähigkeit, Wartbarkeit, ...
- Anmutungseigenschaften der Beschaffungsobjekte: Designaspekte, Markenimage (Beispiel: Intel inside),

Über die Qualität der Beschaffungsobjekte können strategische Wettbewerbsvorteile aufgebaut werden, wenn bestimmte Inputs in gewisser Weise einzigartig oder exklusiv sind und einen vom Endkunden besonders geschätzten Leistungsvorteil aufweisen. Man denke beispielsweise exklusive elektronische Komponenten im Auto, die zumindest einen temporären Wettbewerbsvorteil generieren, oder an ein Hotel in zauberhafter Lage, dessen Grundstück gepachtet ist.

(2) Die Leistung der Beschaffungsprozesse zielt auf die anforderungsgerechte Bereitstellung der Beschaffungsobjekte. Wesentliche Zielkategorien sind:

- Lieferqualität: Die richtige Ware wird ohne Transportschäden in der richtigen Menge an den richtigen Ort geliefert.
- Informationsqualität: Bereitstellung der benötigten Informationen im Rahmen des Belieferungsvorgangs, z.B. Auszeichnung mit für den Kunden lesbaren Etiketten.
- Lieferzeit bzw. Wiederbeschaffungszeit: Wie lange dauert die Belieferung bzw. die Wiederbeschaffung?
- Lieferflexibilität: Änderungsflexibilität (andere Ware, andere Eigenschaften), Mengenflexibilität
- Liefertermintreue: Pünktlichkeit der Belieferung
- Time to market: Entwicklungsgeschwindigkeit, Integration in die Entwicklungsprozesse des Kunden im Sinne des Simultaneous Engineering.

Die Pünktlichkeit oder die Schnelligkeit der Belieferung eröffnet in verschiedenen Branchen mehr oder minder dauerhafte Wettbewerbsvorteile. Die termintreue oder schnelle Zulieferung seitens der Lieferanten kann hierzu der kritische Erfolgsfaktor sein. In diesem Sinne kann der Beschaffungsprozess einen wesentlichen strategischen Beitrag leisten. Verkürzung der Time to Market durch intensive Lieferantenpartnerschaften ist ein weiteres Beispiel, wie Unternehmen sich über hervorragende Leistungen im Beschaffungsprozess vom Wettbewerb differenzieren können.

Angemerkt sein noch, dass das häufig genannte Ziel der "Versorgungssicherheit" wesentliche Leistungsziele des Beschaffungsprozesses und zusätzlich das Ziel der Fehlerfreiheit der Beschaffungsobjekte umfasst.⁶³

⁶² Definition nach ISO 9000: 2000 Punkt 3.1.1; Inhärent bedeutet, dass es sich um der Leistung innewohnende Merkmale handelt. Die Pünktlichkeit der Belieferung mag bei einer Transportdienstleistung ein Qualitätsmerkmal sein, nicht allerdings bei einem Material.

⁶³ Vgl. beispielsweise Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 30.

3.1.2 Kostenziele

Der klassische Einkauf orientiert(e) sich am Einstandspreis bzw. bestenfalls an den Anschaffungskosten der Beschaffungsobjekte. Es besteht heute in der Literatur und zumindest teilweise in der Einkaufspraxis Einigkeit darüber, dass diese Sichtweise zu eng ist.⁶⁴ So sind neben den Anschaffungskosten weitere durch den Beschaffungsprozess beeinflusste Kosten zu berücksichtigen.

Arnolds / Heege / Tussing schlagen in diesem Zusammenhang vor, vier Kostenkategorien zu unterscheiden:⁶⁵

- Anschaffungskosten: Einstandspreis mal Menge zuzüglich aller Preisnebenbedingungen, wie z.B. Transportkosten, Transportversicherungen, Verpackung, Rabatte oder Mindermengenzuschläge
- Bestellabwicklungskosten (Kosten der Eigenleistung zum Zwecke der Bestellabwicklung): Personal- und Sachkosten der Einkaufsabteilung, Wareneingangs-, Qualitäts- und Rechnungsprüfungskosten; Kosten der DV-Systeme der Beschaffung
- Lagerhaltungskosten: Kosten der Lagerhaltung (Raumkosten, Personalkosten, Handlingkosten, ...) sowie Kosten aus den Lagerbeständen, insbesondere Zins- und Versicherungskosten
- Fehlmengenkosten: Gewinnschmälerungen, die durch das Fehlen von Materialien entstehen (z.B. entgangener Umsatz), bzw. dadurch, dass drohende Fehlmengen mit zusätzlichem Aufwand verhindert werden, z.B. Kosten der Expressbelieferung

In den so genannten Total-Cost-of-Ownership-Ansätzen werden umfassend die Kosten der Beschaffung betrachtet und analysiert. Hierbei stellt sich heraus, dass regelmäßig die Kosten der Beschaffung die Kosten des Beschaffungsobjektes um Größenordnungen übersteigen. Ellram spricht in diesem Zusammenhang vom so genannten Eisbergmodell. Wie beim Eisberg nur ein kleiner Teil über dem Wasser sichtbar ist, ist mit dem Einkaufspreis nur ein kleiner Teil der gesamten Beschaffungskosten einfach zu erkennen. Am Beispiel Kodak zeigt sie, dass die Gesamtkosten das 3,67-fache des Einkaufspreises ausmachen.⁶⁶ Zur Systematisierung teilt Ellram die Kosten in drei Kategorien ein: Pretransaction Components, Transaction Components und Posttransaction Components. Die weitere Untergliederung wirkt sehr pragmatisch und wenig systematisch (vgl. Abbildung 9).

⁶⁴ Etwas vorsichtiger schätzt dies Large (Beschaffungsmanagement) S. 43 ein: "[...] decken sich weitgehend mit den Aussagen von Beschaffungsmanagern, welche derzeit in Gesprächen ganz überwiegend die Zielkomplexe Kosten, Qualität und Versorgungssicherheit nahezu gleichberechtigt nebeneinander stellen. Allerdings lässt das tatsächliche Handeln vieler Beschaffungsmanager auch heute noch eine überwiegend am Preis orientierte Einstellung vermuten."

⁶⁵ Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 26 ff.

⁶⁶ Ellram, Edis (Case Study) S. 23.

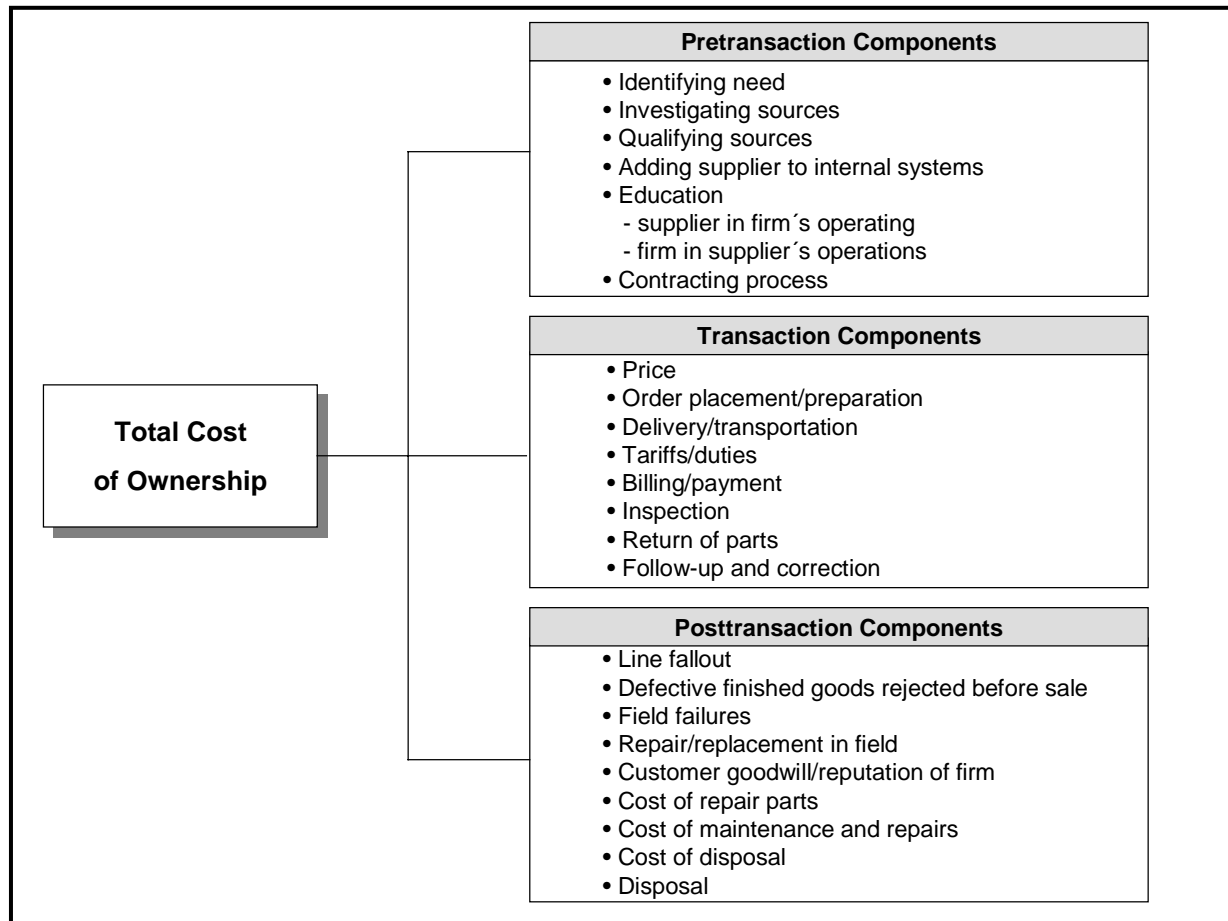


Abbildung 9: Wesentliche Kostenkategorien der Total-Cost-of-Ownership
Quelle: Ellram (Total Cost) S. 666.

Für unsere Belange erweist sich ferner die Fixierung des Total-Cost-of-Ownership-Ansatzes auf einzelne Beschaffungsprojekte bzw. einzelne Lieferantenvergleiche⁶⁷ als zu eng. Unser Fokus ist ja die Materialfeldstrategie.

Aus diesen Überlegungen heraus ergeben sich folgende Anforderungen an eine Systematisierung der Kostenziele der Beschaffung: In der ersten Stufe unterscheiden wir - wie ausgeführt - zwischen den Beschaffungsobjektkosten, den Kosten des Beschaffungsprozesses und den Kostenwirkungen in Folgeprozessen.

- Die Beschaffungsobjektkosten enthalten alle Preisbestandteile, wie z.B. Rabatte, Mindermengenzuschläge usw. Die vom Lieferanten häufig in Rechnung gestellten Belieferungskosten sollen aufgrund ihrer Zurechnung zum Materialversorgungsprozess auch dort betrachtet werden.
- Die Beschaffungsprozesse werden mit ihren gesamten Kosten betrachtet. Zu klären wäre eine (branchenorientierte) Strukturierung der Beschaffungsprozesse. Wir gehen in unseren weiteren Überlegungen von einer Einteilung in vier grundlegende Beschaffungsprozesse aus:
 - Die strategische Materialfeldsteuerung (Materialfeldstrategie definieren, umsetzen und kontrollieren);
 - Das Lieferantenmanagement, das im Rahmen der Materialfeldsteuerung einen derart wichtigen Bestandteil darstellt, dass es eigenständig behandelt werden soll;
 - Der Bestellprozess: Von der Lieferantensuche und -auswahl bis zur Bestellüberwachung konkreter Bestellvorgänge

⁶⁷ Ellram (Total Cost) S. 663 f. Vgl. ferner Large (Beschaffungsmanagement) S. 47. Wir teilen allerdings nicht die radikale Kritik von Large, der den Nutzen des Total-Cost-of-Ownership-Ansatzes für Produktionsmaterialien als gering einstuft.

- Der Materialversorgungsprozess: Von der Anlieferung bis zur Bereitstellung für den Bedarfsträger (inklusive Lagerhaltung, Kapitalbindungskosten, Transportkosten, Retouren)
- Die Betrachtung der Kostenwirkung in den Folgeprozessen verlangt zunächst nach einer systematischen Suche der relevanten Folgeprozesse (Entwicklungsprozess, Fertigung, Montage, Inbetriebsetzung, Vertrieb, Rechnungswesen, ...). Für die angestrebte Wirkung der Beschaffung in diesen Prozessen können dann entsprechende Ziele der Beschaffung formuliert werden.

Obwohl die Beschaffungskosten schon seit Jahren im Fokus der Einkaufspraxis und -theorie stehen, ist hier noch ein umfangreicher Forschungsbedarf vorhanden (vgl. Forschungsleitfrage 4).

Strategische Bedeutung erlangen die Kostenziele der Beschaffung dann, wenn sie zu einer im Wettbewerb überlegenen Kostenstruktur beitragen. Ziel einer derartigen Kostenposition ist es, im (preisorientierten) Wettbewerb bei sinkenden Preisen noch rentabel arbeiten zu können, während die unterlegenen Konkurrenten bereits Verluste einfahren.⁶⁸ Die Bedeutung der Beschaffung beim Aufbau einer überlegenen Kostenposition wurde bereits im Einstiegskapitel gewürdigt.

3.2 Beschaffungsziele und Shareholder Value

Die Beschaffungsstrategie als Funktionalstrategie bzw. als Kernprozessesstrategie steht im Ableitungszusammenhang zu den Unternehmenszielen. Dieser Zusammenhang wird in der Beschaffungsliteratur kaum näher behandelt, bestenfalls auf das Gewinnziel zurückgeführt.⁶⁹ Ein Bezug auf die Unternehmensrentabilität, die nicht nur den Gewinn, sondern den hierfür benötigten Kapitaleinsatz bewertet, findet sich kaum. So sehen wir die folgende Skizze zur Verknüpfung zwischen den Beschaffungszielen und dem Shareholder Value-Ansatz als Aufriss für eine zukünftige Forschungsaufgabe (Forschungsleitfrage 6). Wir konzentrieren uns dabei auf Vereinfachungsgründen auf den Shareholder Value-Ansatz von Rappaport,⁷⁰ den wir folgend knapp skizzieren. Anschließend werden wir anhand eines Treiberbaums die Verknüpfung zwischen dem Rappaport-Ansatz und den Beschaffungszielen herstellen.

Vereinfacht ausgedrückt ist der Eigentümerwert einer Firma (Shareholder Value) der Unternehmenswert abzüglich des Marktwertes des Fremdkapitals. Zur Berechnung des Unternehmenswertes begreift Rappaport die Firma als große Investition, für die er den Barwert der zukünftigen freien Cash Flows⁷¹ errechnet. Hierzu sollten freie Cash Flows über die nächsten fünf bis zehn Jahre geplant und auf den Gegenwartswert abdiskontiert werden. Der Restwert der Firma am Ende der Planungsperiode wird ebenso geschätzt und abdiskontiert. Zusätzlich des Marktwertes der nicht-betriebsnotwendigen Mittel ergibt sich dann der Unternehmenswert.⁷²

Entscheidend für diese Berechnung ist der Diskontfaktor, der so genannte Weighted Average Cost of Capital. Er setzt sich aus den anteilig gewichteten Eigen- und Fremdkapitalkosten zusammen. Während die Fremdkapitalkosten auf durchschnittlichen Ist-Werten beruhen können, gehen bei der Berechnung der Eigenkapitalkosten intensiv Risikoaspekte in die Betrachtung ein. Hierbei wird zwischen Firmenrisiko und Marktrisiko unterschieden.

Die Beeinflussbarkeit des Shareholder Value wird durch den Treiberbaum in Abbildung 10 veranschaulicht. Für die Beschaffung ergeben sich folgende Konsequenzen:

⁶⁸ Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 93 ff.

⁶⁹ Vgl. beispielsweise Koppelmann (Beschaffungsmarketing) S. 109: "Im Mittelpunkt der erwerbswirtschaftlichen Ziele steht nach wie vor das Gewinnziel." Vgl. ferner Grochla, Schönbohm (Beschaffung) S.32 ff.: Grochla / Schönbohm gehen von zwei Formalzielen aus, "die heute als repräsentativ für die Mehrzahl der Unternehmen anzusehen sind:" angemessener Gewinn und Autonomieerhaltung.

⁷⁰ Rappaport (Shareholder).

⁷¹ Unter freiem Cash Flow wird der Cash Flow nach Investitionen verstanden.

⁷² Rappaport (Shareholder) S. 53 ff.

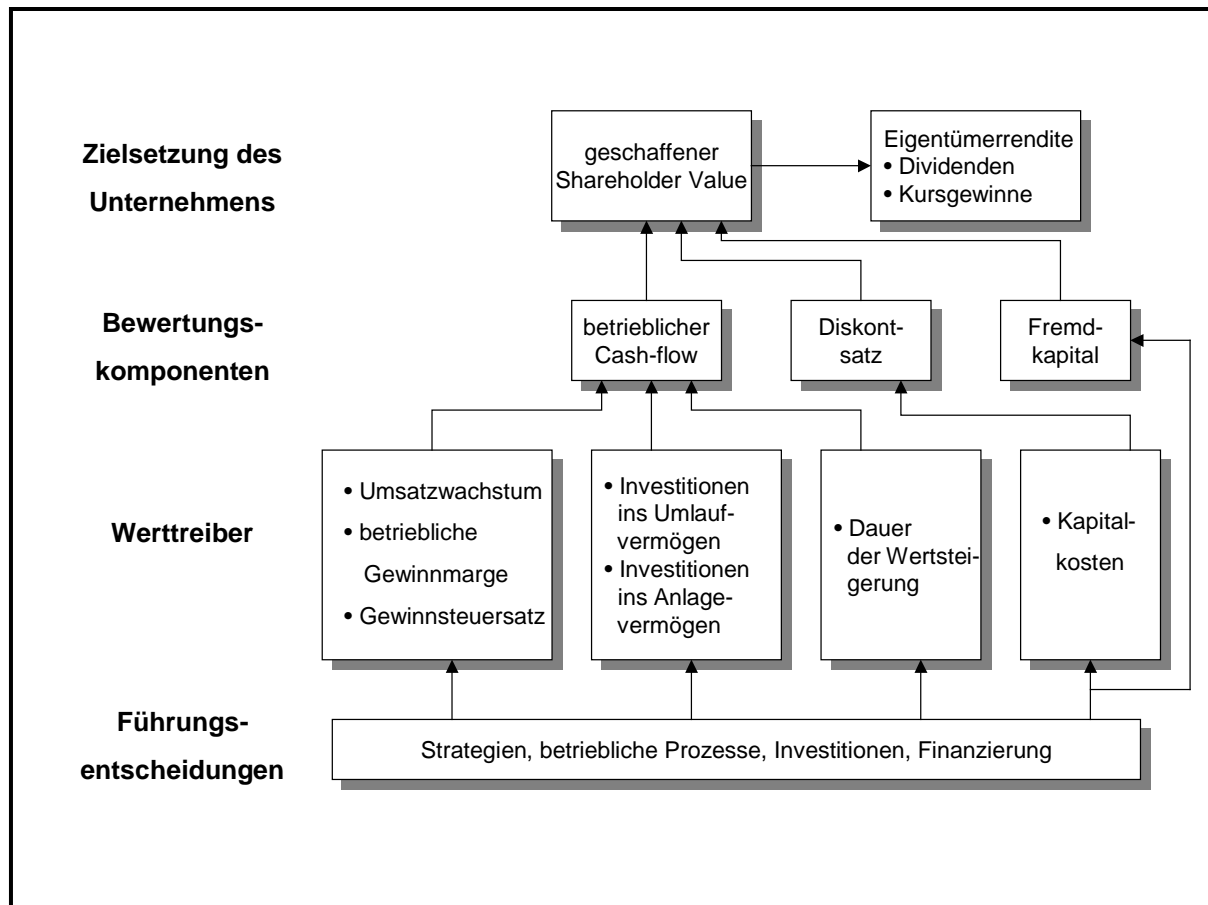


Abbildung 10: Treiberbaum zum Shareholder Value-Ansatz nach Rappaport
Quelle: Rappaport (Shareholder) S. 79, modifiziert.

- Umsatzwachstum: Der Beitrag der Beschaffung zur Umsatzsteigerung über die Qualität der Beschaffungsobjekte sowie der Leistung der Versorgungsprozesse wurde oben dargestellt. Ebenso kann natürlich auch eine überlegene Kostenposition zum Umsatzwachstum beitragen.
- Betriebliche Gewinnmarge: Intensiv und direkt gehen in die betriebliche Gewinnmarge die oben diskutierten Beschaffungskosten ein. Hierbei muss allerdings die Wirkung auf Umsatz und Kosten gleichzeitig gesehen werden. Eine kostengünstige Komponente kann dazu führen, dass der Kunde für das Produkt weniger bereit ist zu zahlen. An dieser Stelle geht es also nicht darum, die Kosten zu minimieren, sondern die betriebliche Gewinnmarge zu optimieren.
- Gewinnsteuersatz: Die Beschaffung kann maßgeblichen Einfluss auf die Steuerrate ausüben. Beispielsweise kann im Rahmen des Global Sourcing über den geschickten Aufbau von IPOs (International Procurement Offices) Gewinn in Ländern mit präferierten Steuergesetzen transferiert werden. Ebenso haben Outsourcingfragen regelmäßig eine steuerliche Komponente.
- Investitionen in Anlage- und Umlaufvermögen wirken sich erheblich auf die freien Cash Flows aus. Hier liegt ein im Einkauf häufig unterschätzter Hebel zur Verbesserung des Shareholder Values. Beispielsweise können mit kanbanbasierten Dienstleisterkonzepten Investitionen in Materialbestände sowie Investitionen in Lager reduziert werden. Ein weiteres Beispiel sind die Zahlungszielvereinbarungen mit Lieferanten, die ebenso die Nettoinvestitionen in Umlaufvermögen drastisch verringern können.
- Dauer der Wertsteigerung: Inwieweit gelingt es der Beschaffung, eine hervorragende Kostenposition bzw. die Exklusivität von überlegenen Komponenten oder Lieferantenbeziehungen längerfristig zu sichern.
- Kapitalkosten: Über einen verringerten Investitionsbedarf kann die Kapitalstruktur insofern positiv beeinflusst werden, da aufgrund des geringeren Kapitalbedarfs der Eigenkapitalanteil steigt. Inwieweit die Beschaffung sich auf die Risikoposition des Unternehmens auswirkt, muss noch näher untersucht werden.

Die Messung des shareholder value-basierten Erfolgsbeitrags der Beschaffung stellt eine notwendige Voraussetzung für eine wirkungsvolle unternehmensorientierte Steuerung der Beschaffung dar. Allerdings ergibt sich diesbezüglich ein nicht unbeträchtlicher Forschungsbedarf, der insbesondere auch nach unterschiedlichen Shareholder Value Ansätzen differenziert werden muss. Je nach Shareholder Value-Ansatz verändern sich nämlich die Treiberbäume und damit natürlich bis zu einem gewissen Grad die Anforderungen an die Beschaffung. Dabei sind die grundsätzlichen Hebel (Umsatz, Kosten, Gewinnmarge, Kapitalbedarf, Kapitalkosten) zwar teils vergleichbar. Jedoch gehen die Konzepte in der Konkretisierung und insbesondere in der Messung der Wirkung der Beschaffung weit auseinander.

Dieser kleine Abriss zur Verknüpfung von Beschaffungszielen mit der Shareholder Value-Steuerung des Unternehmens sollte die Basis für weitere Forschungsbemühungen legen (Forschungsleitfrage 6).

Frage 3:

Wie können Beschaffungsziele systematisch abgeleitet werden?

(Entwicklung einer empirisch gehaltvollen prozessorientierten Systematik zur Ableitung von Beschaffungszielen (Leistungs- und Kostendimension)

Frage 4 (als Teil von Frage 3)

Ist bzw. inwieweit ist die Total-Cost-of-Ownership-Systematik auf die Ebene von Materialfeldstrategien übertragbar?

Frage 5 (als Teil der Fragen 3 und 4)

Wie kann die Wirkung der Beschaffung auf andere Prozesse im Unternehmen systematisiert werden?

Frage 6:

Wie können die Beschaffungsziele mit einer Shareholder Value-Zielsetzung im Unternehmen verknüpft werden?

(Systematik und Messmethodik)

4. Definition und Priorisierung von Materialfeldern

4.1 Zielsetzung der Materialfeldbildung

Die Materialfeldbildung ist aufgrund der üblicherweise extremen Komplexität und Heterogenität der Beschaffung eines Unternehmens erforderlich. 100.000 Beschaffungsartikel - und das ist noch keine ungewöhnliche Zahl - verdeutlichen die Komplexität des Beschaffungsgeschehens. Noch gravierender stellt sich die Heterogenität der Beschaffungsmärkte dar, auf denen ein Unternehmen aktiv werden muss. Dies soll am Beispiel einer Autofabrik illustriert werden.

Ein Auto besteht aus ca. 10.000 bis 20.000 Teilen (Beispiel Audi A3 ca. 13.500; Audi A4 ca. 20.000). Das Spektrum reicht dabei von Stahlblechen, über komplexe Komponenten (z.B. Bremssysteme), Lacke, Glas bis hin zu einfachen DIN- und Normteilen. Abbildung 11 gibt am Beispiel eines Opel Signum einen kleinen Eindruck über die Breite des Teilespektrums. Jenseits der direkten Materialien sind Betriebsstoffe, Energie, Investitionsgüter oder Dienstleistungen zu beschaffen.

Um bei einer derartigen Vielzahl und Vielfalt an Beschaffungsobjekten die Beschaffungsmärkte aktiv gestalten zu können, muss die Komplexität erheblich reduziert werden. Hierzu empfiehlt es sich im ersten Schritt,⁷³ die "zusammengehörigen" Beschaffungsobjekte nach der Struktur der Beschaffungsmärkte in Materialfeldern (synonym Materialgruppen) zusammenzufassen und die Beschaffung jeweils mit einer integrierten Materialfeldstrategie zu optimieren. Dies ist deshalb sinnvoll, da zwischen den einzelnen Beschaffungsmärkten - im Prinzip - keine direkte Beziehung besteht: Es werden völlig unterschiedliche Produkte gehandelt, die auf

⁷³ Auf weitere Methoden der Komplexitätsreduktion in der Beschaffung, z.B. System Sourcing bzw. Reduktion der Fertigungstiefe sowie Erhöhung des Standardisierungsgrades sowie der Zahl an Gleichteilen, wird im Rahmen der Gestaltungsdimensionen der Materialfeldstrategie eingegangen.

grundsätzlich verschiedenen Produkt- und Prozesstechnologien beruhen. Die Marktstrukturen sind voneinander unabhängig und es gibt nur bedingt und unsystematisch Überschneidungen bei den aktiven Lieferanten.

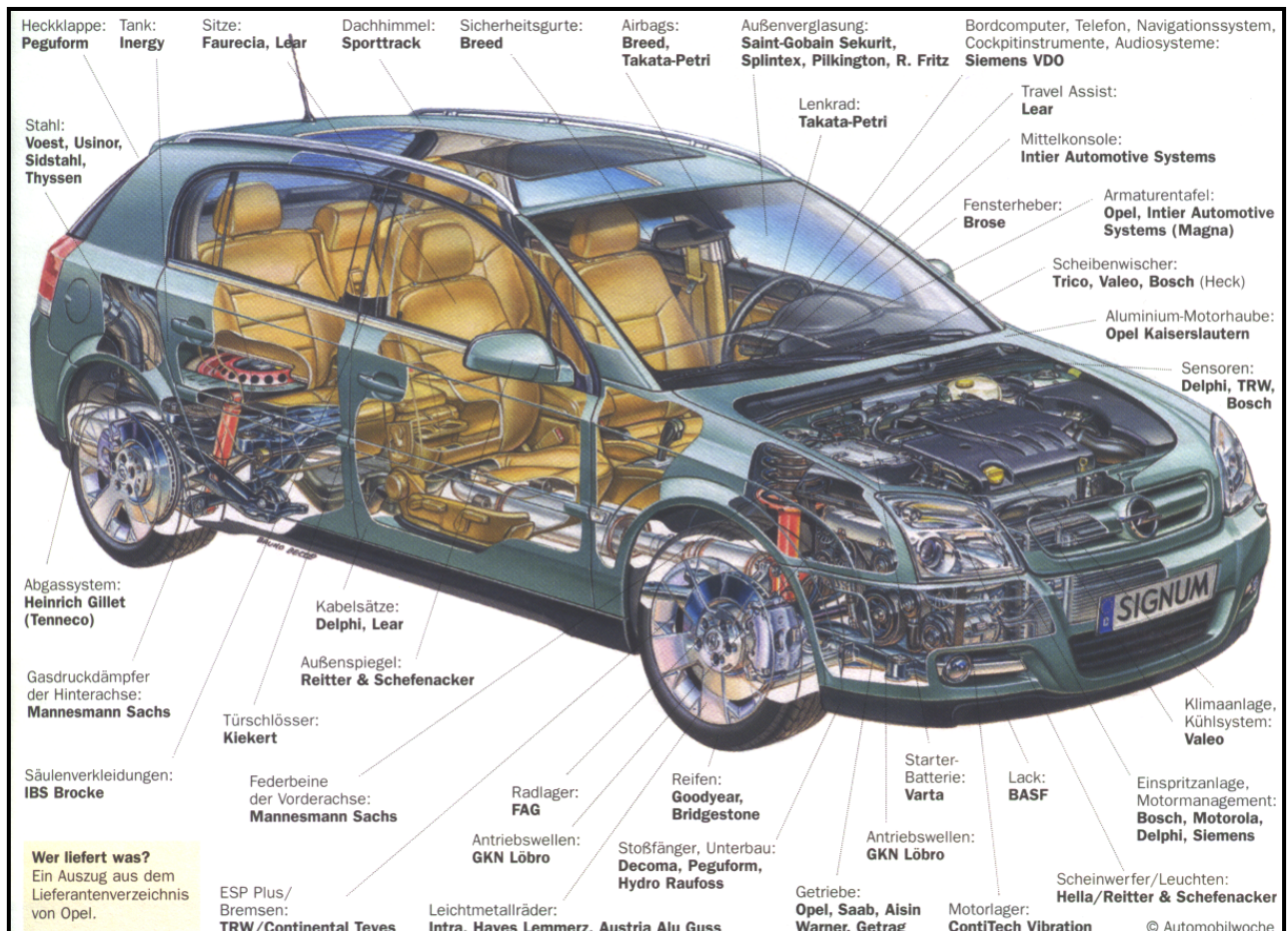


Abbildung 11: Teilespektrum Opel Signum
Quelle: Automobilwoche vom 29.4.2003.

Im Einzelnen zielt die Strukturierung der Beschaffungsobjekte und ihre Zusammenfassung in Materialfelder auf folgende Effekte:

- Über die Materialfeldbildung wird die Basis für die Transparenz des Beschaffungsgeschehens gelegt.⁷⁴ Die Vorteile der Transparenz werden in den folgenden Aspekten konkretisiert.
- Aufgrund der marktlichen und technologischen Homogenität innerhalb eines Materialfeldes wird überhaupt erst die Spezialisierung und damit die nachhaltige Qualifizierung von Mitarbeitern ermöglicht.
- Es entsteht eine Kommunikationsbasis zwischen den verschiedenen einkaufenden Einheiten im Unternehmen bzw. ggf. für zwischenbetriebliche Einkaufskooperationen. Dies gilt insbesondere, wenn die einzelnen Materialfelder mit einer eindeutigen personellen Verantwortlichkeit betreut werden.
- Auf der Basis von Materialfeldern lassen sich Bedarfe bündeln. Zum einen können die Bedarfe über die verschiedenen Bedarfsträger im Unternehmen bzw. in der zwischenbetrieblichen Zusammenarbeit zusammengefasst werden. Zum anderen ergeben sich Bündelungseffekte über eine gemeinsame Vergabe verschiedener Sachnummern eines Materialfeldes.
- Die Materialfelder bilden - per definitionem - die Basis für Beschaffungsmarktanalysen und Technologie-roadmaps.

⁷⁴ Boutellier, Zagler (Materialgruppenmanagement) S. 24 f.

- Sourcing-Strategien und integriertes Lieferantenmanagement können auf Materialfeldebene optimiert werden. Man denke beispielsweise an Single Sourcing-Strategien einzelner Materialien, die durch eine wohl gestaltete Lieferantenstruktur im Materialfeld nicht zu Abhängigkeitsverhältnissen führen.
- Standardisierungsfragen bzw. andere Hebel der Materialrationalisierung sowie der logistischen Materialversorgung sind sinnvollerweise im Kontext eines Materialfeldes zu diskutieren.

Die Frage, nach welchen Kriterien Materialien zu Materialfeldern zusammengefasst werden bzw. wie ein Unternehmen die Struktur seiner Beschaffungsmärkte definiert, ist in der Theorie kaum behandelt⁷⁵ und in der Praxis eher pragmatisch denn systematisch gelöst.

Inwieweit die vielfältigen Ansätze zur Materialklassifizierung⁷⁶ hierzu fruchtbar gemacht werden können, muss noch näher untersucht werden (siehe unten Forschungsleitfrage 9). So finden sich wesentliche Einsatzbereiche von Materialklassifizierungen⁷⁷ beispielsweise (1) im Bereich der Katalogbildung, deren Bedeutung aufgrund der e-Sourcing-Potenziale stark zugenommen hat, (2) im Rahmen konstruktiver Fragestellungen und damit verbundener Materialrationalisierungen sowie (3) als Basis logistischer Optimierungen. Diese Klassifizierungssysteme einfach zur Materialfeldbildung heranzuziehen, muss aufgrund der sehr unterschiedlichen Zielsetzungen eher vorsichtig beurteilt werden.

4.2 Methodik der Materialfelddefinition

Die Zielsetzung der Materialfeldbildung ist - wie oben ausgeführt - die aktive Bearbeitung der Beschaffungsmärkte. Somit sollte die Bildung und Abgrenzung von Materialfeldern in Bezug auf die korrespondierenden Beschaffungsmärkte vorgenommen werden. Damit präzisiert sich das Problem der Materialfelddefinition auf die Frage der Strukturierung der Beschaffungsmärkte, auf denen das Unternehmen aktiv ist.

In der volkswirtschaftlichen und insbesondere in der wettbewerbsrechtlichen Literatur wird die Frage der Branchendefinition breit diskutiert und letztlich über marktliche Substitutionsbeziehungen, z.B. Kreuzpreiselastizitäten, Preiskorrelationen oder nachfrage- bzw. angebotsseitige Substitutionsmöglichkeiten, beantwortet. Für den Einsatz im Rahmen der Strukturierung der Beschaffungsmärkte können diese Verfahren (vielleicht) erste Anregungen geben, erscheinen aber insgesamt als viel zu komplex.⁷⁸ Theisen schlägt vor, den Beschaffungsmarkt so zu definieren, dass er jeweils alle Anbieter und Konkurrenten, die einzeln oder in ihrer Gesamtheit einen merklichen Einfluss ausüben, mit umschließt.⁷⁹

Die Unternehmenspraxis geht meist pragmatisch vor, indem über die Stücklistenauflösung Module, Komponenten oder Bauteile gebildet werden, die dann mehr oder minder systematisch zu Materialfeldern zusammengefasst werden. Hierbei stehen unserer Einschätzung nach häufig eher technische Produktmerkmale als Beschaffungsmarktkriterien im Vordergrund. Diese Aussage ist im Rahmen der weiteren Untersuchungen zu überprüfen (vgl. Forschungsleitfrage 7).

Grochla / Schönbohm unterscheiden in ihrem Klassiker der Beschaffung drei Vorgehensweisen zur Strukturierung der Beschaffungsmärkte:⁸⁰

⁷⁵ Auf den Ansatz von Grochla, Schönbohm (Beschaffung) S. 97 ff. werden wir unten näher eingehen.

⁷⁶ Interessante Systeme, die in Hinblick auf unsere Zwecke zu analysieren und zu bewerten sind, sind beispielsweise e-class (www.eclass.de), das von führenden internationalen Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen der Industrie erarbeitet wurde und systematisch weiterentwickelt wird, sowie das UN SPSC-System (United Nations Standard Product and Service Code), das von den Vereinten Nationen und Dun&Bradstreet gemeinsam entwickelt wurde. Zum Vergleich der beiden Systeme vgl. Hradezky u.a. (Sprachbarrieren). Interessant ist auch die Frage, inwieweit proprietäre Systeme oder im Markt standardisierte Systeme zu bevorzugen sind. Hauptargumente sind einerseits für Standards der Aufwand und die einfachere Kommunikation und andererseits für proprietäre Systeme die bessere Individualität sowie die einfachere Anpassung und Dynamisierung.

⁷⁷ Vgl. Large (Beschaffungsmanagement) 58 ff.

⁷⁸ Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 117 weisen darauf hin, dass der Erforschung der Beschaffungsmärkte in Theorie und in Praxis zu wenig Beachtung entgegengebracht wurde.

⁷⁹ Theisen (Beschaffungspolitik) S. 33.

⁸⁰ Grochla, Schönbohm (Beschaffung) 98 ff. Zu beachten ist, dass Grochla / Schönbohm ihre Betrachtung eher am Handel und weniger an der Industrie ausrichten.

- Bildung objektgruppenbezogener Beschaffungsmärkte, bei der von Beschaffungsobjektgruppen ausgegangen wird und alle Beschaffungsobjekte zusammengefasst werden, die gleiche oder ähnliche Merkmale und / oder Beschaffungsbedingungen aufweisen;⁸¹
- Bildung problembezogener Beschaffungsmärkte, bei der Beschaffungsobjekte vereint werden, die in einem gemeinsamen Problemlösungszusammenhang stehen;
- Bildung umweltbezogener Beschaffungsmärkte, die sich aus Gemeinsamkeiten im Beschaffungsumfeld heraus strukturieren. Auch bei Grochla / Schönbohm fällt allerdings auf, dass die marktseitige Segmentierung eher allgemein bleibt.

Wir schlagen vor, das Instrument der Branchensegmentierung von Porter⁸² auf unsere Fragestellung zu übertragen. Dies erfordert einen zweifachen Transfer. Zum einen bezieht sich die Branchensegmentierung auf Absatzmärkte, so dass wir die Differenz zur beschaffungsseitigen Anwendung herausarbeiten müssen. Zum anderen verwendet Porter das Instrument weniger zur Branchendefinition als zur internen Strukturierung einer Branche in homogene Teilsegmente. Allerdings weist Porter selbst auf die Relativität zwischen Branchendefinition und -segmentierung hin.⁸³ Inwieweit von zwei verschiedenen Branchen bzw. von zwei Segmenten einer Branche gesprochen wird, hängt vom Grad der Heterogenität der Branchenstruktur ab. Somit muss der Übergang als fließend gesehen werden. Für die betriebliche Praxis erscheint dieses Problem allerdings wenig relevant. Somit sollte das Instrument auch zur Strukturierung von Beschaffungsmärkten eines Unternehmens adaptierbar sein. (Zur näheren Überprüfung vgl. Forschungsfrage 8.)

Im Rahmen seiner Branchensegmentierung unterscheidet Porter eine Produktdimension⁸⁴ und eine Marktdimension.⁸⁵ Aus der Kombinatorik ergeben sich so genannte Produkt-Markt-Felder, die zu Branchensegmenten zusammengefasst werden können (vgl. Abbildung 12).

Die (praktische und auch theoretische) Strukturierung von Beschaffungsmärkten konzentriert sich meist auf die Produktdimension, während die Marktdimension bisher kaum beachtet wird. So werden wir zunächst verschiedene Systematisierungskriterien zur Produktdimension vorstellen und diskutieren. Anschließend werden wir die Marktdimension etwas strukturieren und deren Relevanz aufzeigen. Insgesamt besteht hier allerdings noch ein großer Forschungsbedarf.

⁸¹ Hierbei bleiben Grochla / Schönbohm nicht ganz konsistent. So werden im ausgeführten Beispiel auch Kriterien der Objektgruppen angeführt, die eher zu den Umfelddimensionen gehören, z.B. die geographische Marktbildung bzw. der Lieferantenkreis.

⁸² Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 301 ff.

⁸³ Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 351.

⁸⁴ Die Produktdimension umfasst die objektgruppenbezogenen und die problembezogenen Strukturierungskriterien nach Grochla / Schönbohm.

⁸⁵ Large (Beschaffungsmanagement) S. 84 ff. schlägt eine objektorientierte und eine räumliche Dimension der Branchendefinition vor.

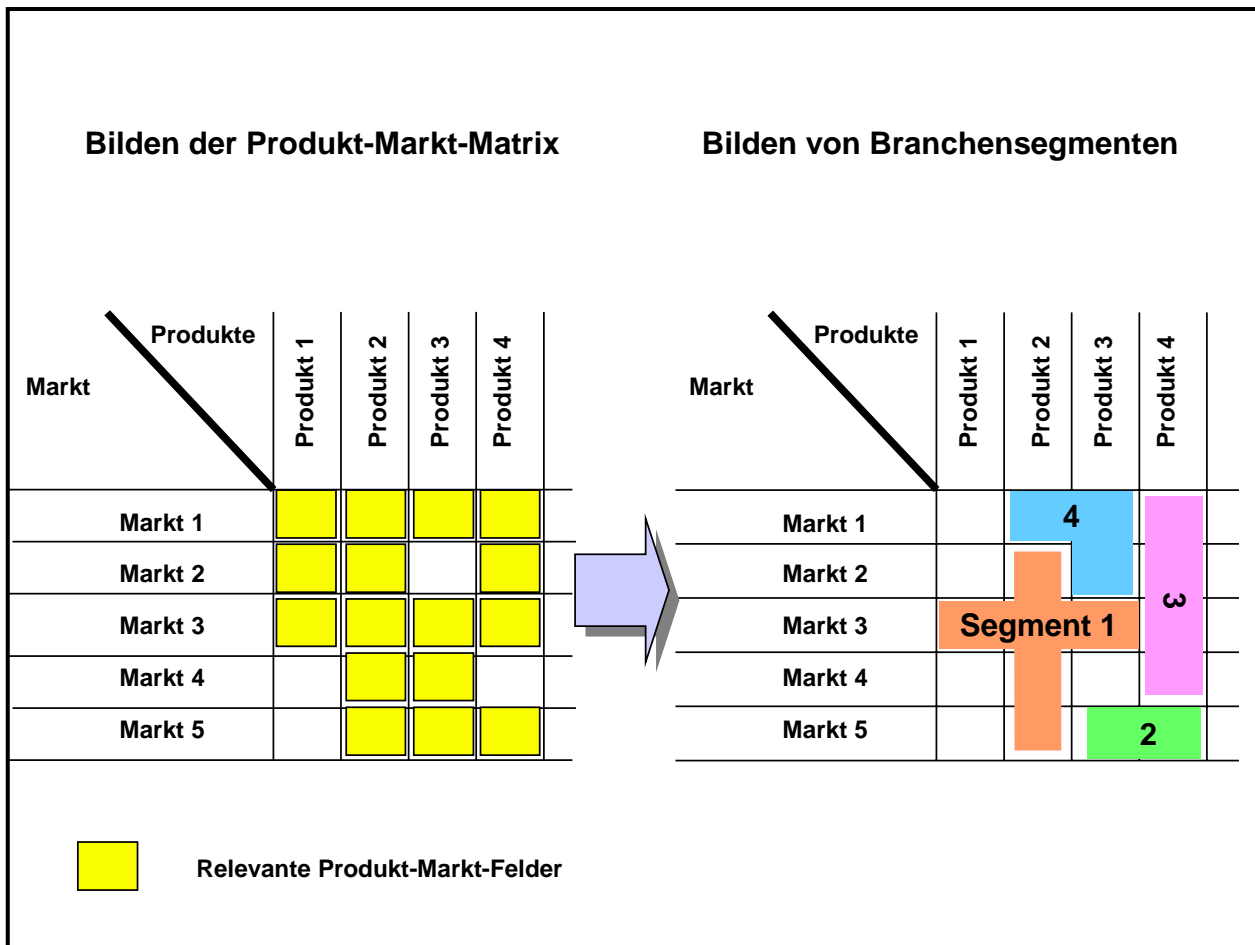


Abbildung 12: Bildung von Branchensegmenten
Quelle: Porter (Wettbewerbsvorteil) S. 341 (modifiziert).

Folgende Strukturierungskriterien der Produktdimension finden in der Praxis Anwendung und wurden auf Basis unserer Erfahrung zusammengetragen. Wir erheben mit unserer Auflistung nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Ganz im Gegenteil, auch hier sollten weitere Forschungsbemühungen mehr Klarheit schaffen:

- **Stofforientierung**
Die Einteilung erfolgt nach Rohstoffarten (z.B. Kupfer, Kohle, Holz) bzw. über die zentralen Inputs von Produkten (z.B. Aluprofile)
- **Funktionsorientierung**
(Modulorientierung bzw. Problemorientierung). Bei einer Funktionsorientierung werden die Produkte in Module (bzw. Systeme) zerlegt. "Im Gegensatz zur traditionellen Beschaffung von Teilen und Komponenten [...] werden bei einer Modul- und Systembeschaffung die Beschaffungsumfänge zu kompletten, teilweise vormontierten und einbaufertigen Funktionsgruppen zusammengefasst."⁸⁶ Beispiele: Bremsen, Klimaanlage, Tank, Sitze (vgl. oben Abbildung 11) Eine strikte Funktionsorientierung versucht, den Materialaufwand zu 100 % den Modulen zuzuordnen, d.h., dass beispielsweise auch Befestigungsmaterialien den entsprechenden Modulen zugeordnet werden sollen. Die problemorientierte Vorgehensweise von Grochla / Schönbohm stellt dieses Strukturierungskriterium in einen etwas weiteren Kontext. So werden alle Bedarfe zusammengefasst, die im Rahmen einer Problemlösung gemeinsam benötigt werden. Als Beispiel führen Grochla / Schönbohm alle Materialien und Leistungen an, die zur Beschaffung einer EDV-Anlage benötigt werden. Hierbei schwingt bei Grochla / Schönbohm allerdings bereits die Idee einer gemeinsamen Be-

⁸⁶ Wolters (Modul- und Systembeschaffung) S. 72.

schaffung aus einer Hand mit (Systemanbieter). Auf diesen Aspekt gehen wir weiter unten im Rahmen der marktseitigen Segmentierung näher ein (Vertriebskanalsegmente).⁸⁷

- **Verfahrensorientierung (Fertigungstechnologie)**
Die Systematisierung orientiert sich an den Fertigungsverfahren, zum Beispiel Dreh-, Fräs-, Guss- oder Stanzteile.
- **Produktorientierung**
Beispielsweise Rohre, unabhängig aus welchem Material sie sind bzw. mit welchem Fertigungsverfahren sie hergestellt werden.
- **Standardisierungsgrad**
Weit verbreitet ist die Unterscheidung nach dem Standardisierungsgrad der Materialien, z.B. in Standardmaterialien (Norm- und DIN-Teile), Katalogware des Lieferanten, kundenspezifische Materialien oder auftragspezifische Materialien.
- **Verwendungsorientierung (Fertigungsstufe im Unternehmen)**
Soweit die Anforderungen an Materialien bzw. den damit verbundenen Zusatzleistungen in den verschiedenen Wertschöpfungsstufen des Unternehmens sich unterscheiden, kann eine entsprechende Einteilung erfolgen, beispielsweise in Rohbau, Vormontage oder Montage. Üblich ist die Einteilung in direkte und indirekte Materialien
- **Erzeugnisorientierung**
Die Verwendung von Materialien in verschiedenen Enderzeugnissen kann zu sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Materialien und damit verbundenen Leistungen führen. Man denke beispielsweise an den Einsatz von Sitzen bzw. Sitzbezügen in Flugzeugen bzw. im Auto oder die Verwendung von Elektrokomponenten im Flugzeugbau bzw. in der Medizintechnik. So kann die Erzeugnisorientierung zum Segmentierungskriterium werden.
- **Wertorientierung**
Beispielsweise erfolgt eine Strukturierung nach A-Komponenten, B- und C-Teilen. Inwieweit diese Einteilung allerdings zur Branchendefinition verwendet werden kann, erscheint eher fraglich.

In der Praxis finden sich sehr häufig Mischformen der einzelnen Klassifizierungskriterien. In Abbildung 13 ist die Materialfeldstrukturierung von Supply on dargestellt, dem führenden Marktplatz der Automobilzulieferindustrie:⁸⁸ Diese Struktur ist auf der ersten Ebene stark produktorientiert aufgebaut. Auf der zweiten Ebene findet sich allerdings eine Mischstruktur. Problematisch sind diese Mischgliederungen aufgrund von kaum zu vermeidenden Überschneidungen.⁸⁹

⁸⁷ Grochla, Schönbohm (Beschaffung) S. 101 f.

⁸⁸ www.supplyon.com; Zu weiteren Beispielen von Materialfeldklassifizierungen vgl. Boutellier, Zagler (Materialgruppenmanagement), z.B. S. 62, S. 94, S. 110.

⁸⁹ Zur Methodik der Klassifizierung vgl. Large (Beschaffungsmanagement) S. 68.

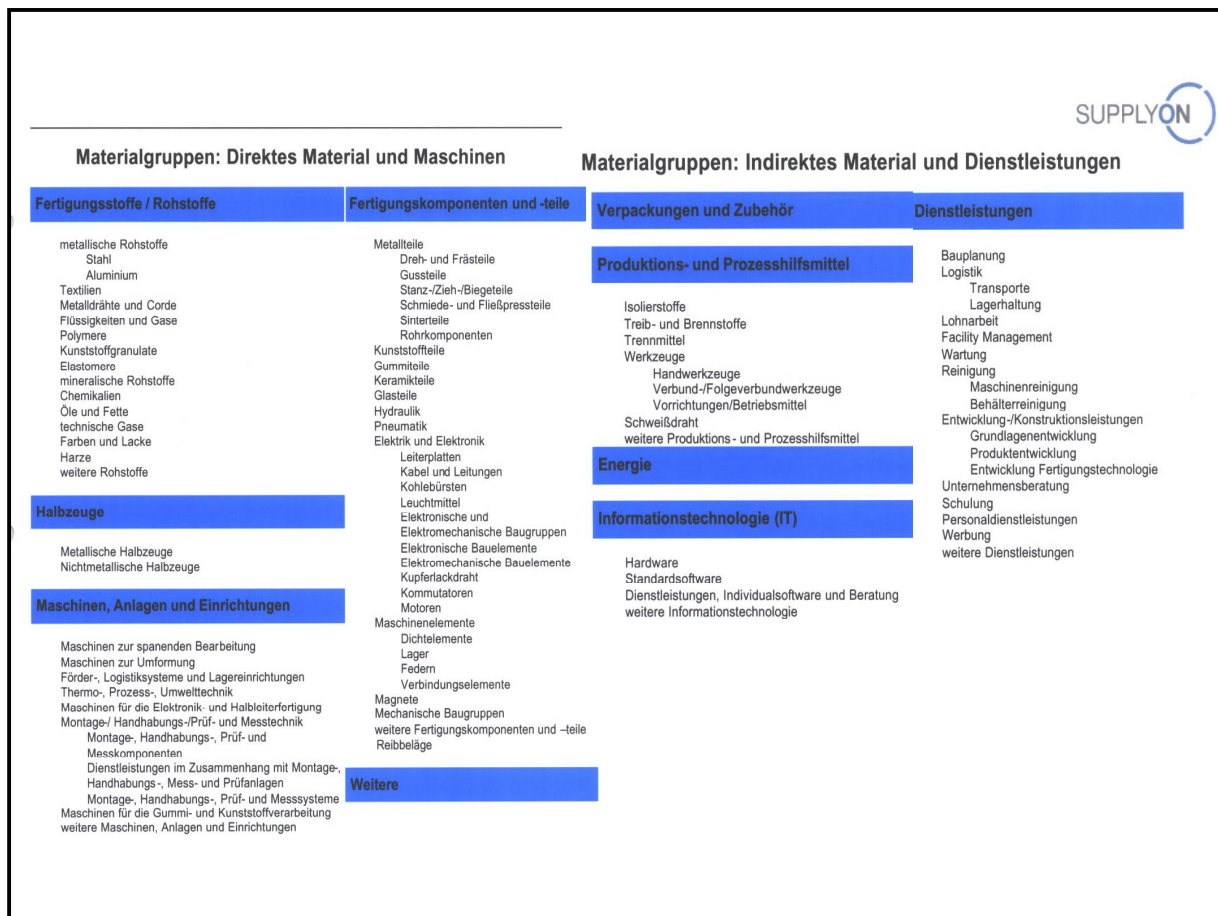


Abbildung 13: Materialfelder bei Supply on
Quelle: www.supplyon.com.

Die Marktdimension ist die zweite Dimension zur Strukturierung der Beschaffungsbranchen. Insgesamt ist die marktseitige Strukturierung der Beschaffungsmärkte eines Unternehmens weder in der Praxis noch in der Theorie befriedigend gelöst. Wir können deshalb im Folgenden nur die Relevanz der Marktdimension aufzeigen und auf die zukünftigen Forschungsbemühungen verweisen.

Porter unterscheidet drei Typen von Segmentierungskriterien auf der Marktseite seiner Branchensegmentierung: Abnehmertypen, Vertriebskanäle sowie geographische Segmente.⁹⁰

Eine geographische Strukturierung der Beschaffungsmärkte macht in verschiedenen Branchen auch in Zeiten des Global Sourcing Sinn. So lassen sich bei Materialien bzw. Dienstleistungen, die sehr transport- und entfernungsensibel sind, regional separierte Märkte mit unterschiedlichen Branchenstrukturen unterscheiden. Beispielsweise werden keine Betonmasten oder Betonteile interkontinental gehandelt. Bis vor kurzem war der Zukauf von Programmierleistungen regionalisiert. An diesem Beispiel erkennt man allerdings, welche Dynamik in einzelnen Branchen entstehen kann. Soweit die regionalen Märkte hinreichend getrennt sind und eigenständige Branchenstrukturen aufweisen, sollten auch die Materialfelder und damit verbunden die Materialfeldstrategien einzeln formuliert werden.

Eine beschaffungsseitige Vertriebskanalsegmentierung kann am Beispiel der derzeit florierenden Dienstleistungskonzepte (insbesondere für C-Teile und für Logistikdienstleistungen) illustriert werden. So kann ein Markt für Dienstleistungen der Materialversorgung mit entsprechenden Dienstleistern als Lieferanten definiert werden, der strukturell völlig losgelöst und unabhängig ist von den Branchen der Materialien

⁹⁰ Porter (Wettbewerbsvorteile) S. 313 ff.

(z.B. DIN- und Normteile), die über den Dienstleister abgewickelt werden. Inwieweit Internet-, Marktplatz- oder Spottmarkthandel ebenso zu völlig neuen Branchenbezügen führen, muss noch untersucht werden.⁹¹

Eine Abgrenzung der Branche über die Abnehmer und Lieferanten, insbesondere deren wechselseitige Substitutionsbeziehungen, entspricht zwar dem Vorgehen bei wettbewerbsrechtlichen Fragestellungen, ist aber in der praktischen Umsetzung schwierig und wird - wie oben bereits ausgeführt - in der Regel unterlassen. Anhand eines Beispiels soll auf die praktische Relevanz einer lieferanten- und abnehmerseitigen Branchendefinition hingewiesen werden. Eine abnehmerseitige Brancheneinteilung bietet sich bei völlig unterschiedlichen Nachfrageverhalten an. Große Automobilkonzerne kaufen jährlich mehrere Millionen Tonnen Stahl während kleinere Spezialmaschinenhersteller einige hundert Tonnen Stahl pro Jahr benötigen. Der Stahl als solcher ist dabei gleich oder zumindest substituierbar. Jedoch sind die Anforderungen an das logistische Umfeld sehr unterschiedlich, so dass sich auch verschiedenartige Anforderungen an die Lieferanten ergeben. Beispielsweise könnten dienstleistungsorientierte Mittelbetriebe eher flexibel auf die Bedarfe des Spezialmaschinenherstellers und international aufgestellte, mit Skaleneffekten versehene Großunternehmen eher auf die Wünsche der Autofirmen eingehen. Sind die sich hieraus ergebenden Differenzen der Marktstrukturen sehr groß, wird man eher von zwei Branchensegmenten sprechen. Welche Kriterien zur marktseitigen Strukturierung der Beschaffungsmärkte eines Unternehmens herangezogen werden können, ist Gegenstand unserer weiteren Forschungsbemühungen.

Wie bereits oben angeführt ist der Übergang zwischen einer Branchendefinition und der Einteilung einer Branche in verschiedene Branchensegmente fließend. Im Hinblick auf die Definition von Materialfeldstrategien empfiehlt sich allerdings eine zweistufige Vorgehensweise: Zunächst sollten eher umfassende Branchen und innerhalb der Branchen dann enger abgegrenzte Branchensegmente definiert werden. Dies hilft einerseits die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Segmenten nicht aus dem Auge zu verlieren und trotzdem für die einzelnen Branchensegmente eine jeweils spezifische Materialfeldstrategie entwickeln zu können. Ein kleines reales, jedoch anonymisiertes Beispiel soll dies illustrieren.

Aus Sicht des betrachteten Unternehmens lässt sich die Branche für Schütze in zwei große Branchensegmente einteilen. Einerseits das Segment mit großen auftragsspezifisch entwickelten Schützen, die in kleinen bis mittleren Serien hergestellt werden, und andererseits das Segment der Industrieschütze, das sich meist im Bereich von Standardschützen und Großserien bewegt. Bei den Lieferanten dieser beiden Segmente gibt es eine bedingte Überlappung. Insbesondere sind nur einige Lieferanten in der Lage, qualitätsgerecht im ersten Segment zu liefern. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Segmentstrukturen und in der Konsequenz zu sehr verschiedenen Materialfeldstrategien.

Abschließend sollen die offenen Forschungsleitfragen im Rahmen der Materialfelddefinition zusammengefasst werden.

Frage 7:

Nach welchen Kriterien werden Materialfelder in Unternehmen definiert? (empirische Frage)

Frage 8:

Wie können die Beschaffungsmärkte eines Unternehmens systematisch strukturiert werden? Kann insbesondere die Methode der Branchensegmentierung von Porter auf eine beschaffungsseitige Branchendefinition und Branchensegmentierung adaptiert werden? Wie kann die marktseitige Branchendefinition und Branchensegmentierung strukturiert werden? (Methodik zur Strukturierung der Beschaffungsmärkte: Branchendefinition und Branchensegmentierung von Beschaffungsmärkten)

Frage 9:

Welche Kriterien dienen sinnvollerweise zur Branchendefinition und Branchensegmentierung? Inwieweit können Ansätze der Materialklassifizierung zur Branchendefinition sowie zur Branchensegmentierung verwendet werden? Welche Vorteile und Probleme verbinden sich mit einer solchen Vorgehensweise?

⁹¹ vgl. auch Grochla, Schönbohm (Beschaffung) S. 101 f.

4.3 Priorisierung der Materialfelder

Aufgrund der oben beschriebenen Vielzahl und Vielfalt der Beschaffungsmärkte, auf denen ein Unternehmen aktiv ist, müssen zunächst die Branchen ausgewählt werden, für die eine differenzierte Materialfeldstrategie abgeleitet werden soll. Die Zahl der selektierten Materialfelder hängt ganz wesentlich von den verfügbaren Ressourcen bzw. (betriebswirtschaftlich vernünftiger) von einer Kosten-Nutzen-Abschätzung einer Materialfeldstrategie ab. Für die so priorisierten Materialfelder wird dann eine Analyse der Beschaffungssituation durchgeführt.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass für bestimmte Materialfelder eine "kleine" Materialfeldstrategie sinnvoll sein kann, d.h. eine Materialfeldstrategie, die mit aggregierten Daten und eingeschränktem Rechercheaufwand zu größeren Strategieempfehlungen kommen kann. Im Bereich von C-Materialfeldern haben wir mit derartigen Vorgehensweisen gute Erfahrungen gemacht. Ebenso können hier die in Kapitel 7 diskutierten Portfolioansätze eine gute Hilfestellung leisten. Die Entwicklung einer entsprechenden Systematik werden wir in den Kanon unserer Forschungsleitfragen aufnehmen (vgl. Forschungsleitfrage 18).

Die ABC-Analyse und die Portfoliotechnik dürften die am häufigsten verwendeten Verfahren zur Priorisierung von Materialfeldern sein. Wir wollen beide Ansätze folgend kurz vorstellen:

(1) ABC-Analyse⁹²

Bei der ABC-Analyse wird für die einzelnen Materialgruppen der bewertete Jahresbedarf (auf Basis Einkauf oder Verbrauch) analysiert. Hierbei kann der bewertete Vorjahresverbrauch, der durchschnittliche Verbrauch der letzten Jahre oder auch eine Verbrauchsprognose zugrunde gelegt werden. Die Materialgruppen werden nach der Höhe der Verbrauchswerte sortiert. Die Materialfelder mit dem höchsten Verbrauch werden als A-Materialfelder bezeichnet (ca. kumuliert 15 bis 20 Prozent des Gesamtverbrauchs). Die nächstfolgenden Materialfelder als B-Materialfelder (ca. weitere 15 bis 20 Prozent des Gesamtwertes) und die restlichen als C-Materialfelder definiert.

Für die A- und ggf. für die B-Materialfelder werden Materialfeldstrategien entwickelt. Dabei wird unterstellt, dass die Bedeutung einer Materialgruppe einzig von deren Jahresverbrauch abhängt. Eine differenziertere Betrachtung wird von den Portfolioansätzen vorgenommen.

(2) Einkaufs-Portfolio

Unserer Einschätzung nach bietet das klassische Einkaufs-Portfolio nach Kraljic⁹³ eine gute Basis zur Priorisierung von Materialfeldern. Im Sinne der Portfoliomethodik unterscheidet Kraljic zwei Dimensionen: eine unternehmensorientierte Position: Den Ergebniseinfluss für das einkaufende Unternehmen, und eine marktorientierte Position: Das Beschaffungsmarktrisiko.

Nach Kraljic kann der Ergebniseinfluss eines bestimmten einzukaufenden Artikels "über die eingekaufte Menge, seinen prozentualen Anteil an den gesamten Einkaufskosten sowie den Einfluss auf die Produktqualität und das Unternehmenswachstum ausgedrückt werden."⁹⁴ Analog zu den oben ausführlich beschriebenen Zielen der Beschaffung kann der Ergebnisbeitrag eines Materialfeldes auf die Kosten- bzw. auf die Qualitätsposition des Unternehmens ausgerichtet sein. Dabei erfolgt eine Beurteilung der Kostenpotenziale häufig über die unter (1) beschriebene ABC-Analyse. Die Wirkung auf die Qualitätsposition des Unternehmens darf allerdings nicht ausschließlich an dem Einfluss auf die Produktqualität beschränkt bleiben, sondern muss ebenso die Bedeutung logistischer Leistungsaspekte berücksichtigen. Beispielsweise kann eine Komponente aufgrund der langen Wiederbeschaffungszeit zum Engpass in Bezug auf die Änderungsflexibilität werden, die dem Endkunden geboten werden kann.

Das Beschaffungsmarktrisiko kann mit "der Verfügbarkeit des Artikels, der Zahl der Lieferanten, der Zahl der Nachfrager, den Möglichkeiten zur Eigenfertigung, den Lagerungsrisiken und den Möglichkeiten der Substituti-

⁹² Vgl. beispielsweise Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 38 ff.

⁹³ Kraljic (Versorgungsmanagement). Vgl. auch unsere Ausführungen in Kapitel 7.1.

⁹⁴ Kraljic (Versorgungsmanagement) S. 9.

on" beurteilt werden.⁹⁵ Wildemann spricht von dem Versorgungsrisiko und schlägt eine Operationalisierung in Form eines Scoringmodells mit folgenden Analysekrterien vor:⁹⁶

1. Ist das Teil speziell für das eigene Haus ausgelegt? (Spezifität)
2. Änderungshäufigkeit des Teils / der Komponente von seiten des eigenen Hauses.
3. Spezifisches Fertigungs-Know how erforderlich?
4. Möglichkeit der Eigenfertigung im Hause (Technische Ausrüstung, Know how)
5. Vorhandensein von ausreichender Kapazität im Hause
6. Wiederbeschaffungszeit
7. Logistische Anforderungen im Materialhandling
8. Saisonabhängigkeit des Materials
9. Ist das Teil / die Komponente erklärungsbedürftig?
10. Ist das Teil / die Komponente werkzeugintensiv? (Gegenteil wäre Universalvorrichtung)

Unserer Erfahrung nach sollte von der marktseitigen Versorgungskomplexität gesprochen werden, die sich aus der Leistungskomplexität (z.B. Spezifität, Bedarfsschwankungen, ...), dem Versorgungsrisiko (Verfügbarkeitsrisiken, technische Risiken, ...) und der Lieferantenmacht zusammensetzt.

Im Gegensatz zu Kraljic, der einzelne einzukaufende Materialien analysiert, wird bei dieser Vorgehensweise allerdings von beschaffungsmarktorientierten Materialfeldern ausgegangen. Dies wirft bei der praktischen Umsetzung Probleme auf, soweit die Materialfelder in sich heterogen sind. Beispielsweise werden Kriterien notwendig, die die Streuungen der Materialien innerhalb der Antwortkategorien sichtbar machen. Sollten die Unterschiede innerhalb einer Materialgruppe jedoch zu groß werden, muss eine Untergliederung in Branchen-segmente vorgenommen werden.

Werden die beiden Dimensionen jeweils in hoch und niedrig eingeteilt und miteinander kombiniert, ergibt sich ein Vierfelderschema (vgl. unten Abbildung 26 in Kapitel 7.1). Strategische Artikel weisen hohen Ergebniseinfluss und hohe Versorgungskomplexität auf. Hebelartikel sind durch großen Ergebniseinfluss bei niedriger Komplexität und umgekehrt Engpassartikel durch große Komplexität bei geringem Ergebniseinfluss gekennzeichnet. Für Materialfelder, die einem dieser drei Felder zugeordnet sind, sollte eine Materialfeldanalyse durchgeführt und eine Materialfeldstrategie entwickelt werden. Bei unkritischen Materialfeldern (Ergebniseinfluss und Versorgungskomplexität niedrig) kann versucht werden, über Dienstleisterkonzepte die Materialfeldstrategie auf Partner zu verlagern. Welche Dimensionen und welche Kriterien zur Klassifizierung und zur Priorisierung von Materialfeldern mit Hilfe der Portfoliotechnik zielführend sind, ist noch näher zu untersuchen (Forschungsleitfrage 10).

In den Portfolioansätzen des Einkaufs wird über die reine Priorisierung der einzelnen Materialfelder hinaus versucht, Strategieempfehlungen abzuleiten. Auf diese Fragestellung werden wir in Kapitel 7 zurückkommen.

Frage 10:

Mit welchen Dimensionen und Kriterien können Materialfelder als strategisch bedeutsam klassifiziert werden?

⁹⁵ Kraljic (Versorgungsmanagement) S. 9.

⁹⁶ Wildemann (Einkaufspotentialanalyse) S. 60.

5. Materialfeldanalyse

Für die strategisch bedeutsamen Materialfelder muss der Bedarf spezifiziert, das Branchenumfeld und die aktuelle Versorgungslage analysiert werden (vgl. Abbildung 7 in Kapitel 2.2). Eine Ausdifferenzierung der ersten beiden Aufgabengebiete der Materialfeldanalyse, der Bedarfs- und der Umweltanalyse, findet sich in Abbildung 14.

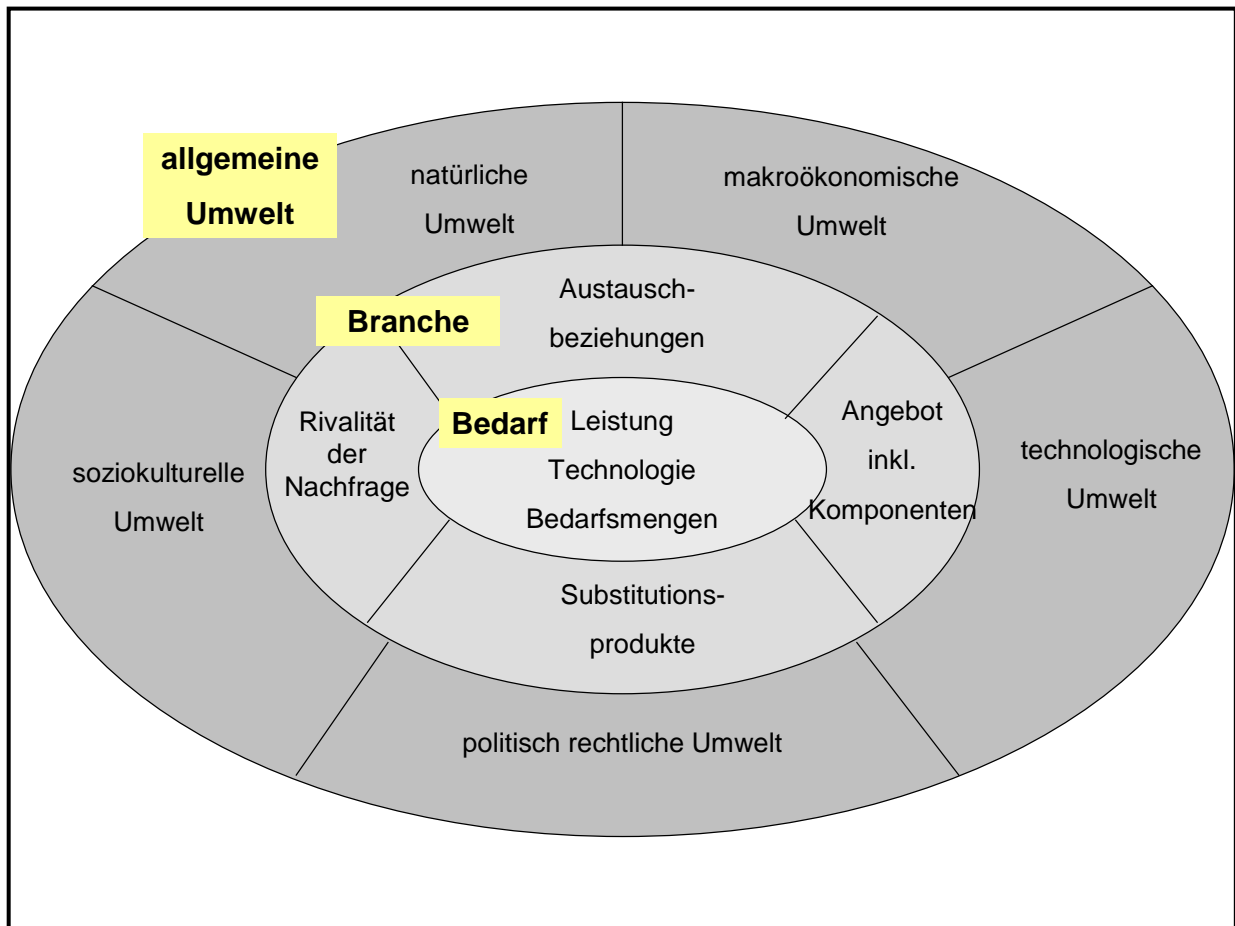


Abbildung 14: Struktur Bedarfs- und Umweltanalyse als Teil der Materialfeldanalyse

Ausgangspunkt der Materialfeldanalyse ist die Analyse des Bedarfs im Unternehmen, d.h. die Spezifikation der benötigten Leistung (= Produkt) und der Bedarfsmengen:

- Leistung (bzw. Produkt)⁹⁷
Die Spezifikationen der einzukaufenden Leistungen ist der Ausgangspunkt der Materialfeldanalyse. Hierzu gehören neben technischen Eigenschaften (z.B. Leistungsklassen) auch Fragen der Produktionsverfahren oder logistische Aspekte der Leistung. Dabei ist auf eine aggregierte Beschreibung zu achten, die von einzelnen Leistungen bzw. Bedarfsfällen abstrahiert und auf generelle Anforderungen im Materialfeld abhebt (Leistungsarten). Anhand dieser Beschreibungsdimensionen ergeben sich dann im Laufe der weiteren Vorgehensweise Anforderungen für das Sourcing (z.B. Suche nach Systempartner) oder für die zu installierenden Prozessen (z.B. Einführung eines Lieferantenkanbans). Inwieweit es jenseits einer situationsspezifischen Strukturierungen des Materialfelds allgemeine Systematisierungsmethoden gibt, ist

⁹⁷ Vgl. Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 121 f. Sehr ausführlich nimmt Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 152 zu Bedarfsanalyse und darin zur Bestellanforderung Stellung.

zu untersuchen. Zu prüfen ist ferner, inwieweit die oben vorgeschlagene Methodik der Branchensegmentierung auch hier zur Strukturierung herangezogen werden kann.

- **Technologie**
Insbesondere bei technisch anspruchsvollen Leistungen mit hoher Innovationsdynamik ist es notwendig, die technologische Entwicklung, beispielsweise in Form einer Technologieroadmap, zu prognostizieren.
- **Bedarfsmengen**
Die Analyse und Prognose der Bedarfsmengen im Materialfeld stellt einen weiteren bedeutsamen Schritt in der Materialfeldanalyse dar. Hierbei sollte - trotz häufig beträchtlicher Umsetzungsprobleme - die Bedarfsprognose mehrfach strukturiert sein. So sollten die Bedarfsmengen nach den Leistungsarten im Materialfeld (siehe oben) und ferner nach Bedarfszeitpunkten, Bedarfsregionen, ggf. nach Bedarfsträgern untergliedert werden. Die Methodik der Bedarfsmengenanalyse wird in der Literatur zum Supply Chain Management sowie zur Materialwirtschaft ausführlich diskutiert. Letztlich lassen sich zwei grundsätzliche Vorgehensweisen unterscheiden: Die bedarfsorientierten Verfahren, die von einer Primärbedarfsprognose ausgehen und im Sinne einer Stücklistenauflösung die Konsequenzen für das Materialfeld untersuchen, sowie die verbrauchsorientierten Verfahren, die aus Vergangenheitsverbräuchen stochastisch auf die Zukunft schließen. Gelegentlich finden sich auch Kombinationen der beiden Methoden, in denen die Extrapolation der Vergangenheit über eine Zukunftsvariable modifiziert wird (Beispiel Extrapolation + 10 %, da von einem Marktwachstum von 10 % ausgegangen wird).⁹⁸

Die Möglichkeiten der Bedarfsdeckung werden vom Branchenumfeld beeinflusst. So folgt nach der Bedarfs- die Branchenanalyse des Beschaffungsmarktes.⁹⁹ Zur Analyse des Beschaffungsmarktes wird zwischen der Angebots-, der Nachfrageseite¹⁰⁰ sowie den in der Branche vorfindbaren Austauschbeziehungen unterschieden. Ferner sollte die Möglichkeit von Substituten betrachtet werden (vgl. Abbildung 14).

Angemerkt sei, dass diese Systematik in Anlehnung an die Branchenstrukturanalyse von Porter entwickelt wurde.¹⁰¹ In dieser finden sich fünf Treiber einer Branchenstruktur: (1) Die Verhandlungsstärke der Lieferanten, die wir im Rahmen der Analyse der Angebotsseite betrachten. (2) Die Intensität der Rivalität betrifft das Verhältnis der am Markt nachfragenden Unternehmen und somit die Nachfrageseite im Beschaffungsmarkt. (3) Die Verhandlungsstärke der Abnehmer der einkaufenden Unternehmen wirkt sich indirekt auf die Rivalität zwischen den verschiedenen nachfragenden Unternehmen aus. Der Einfluss erscheint uns allerdings derart indirekt, dass wir hierauf nicht explizit eingehen wollen.¹⁰² (4) Die Wirkung von Markteintrittsbarrieren im Beschaffungsmarkt müsste sowohl angebots- als auch nachfrageseitig untersucht werden. Mit neuen Lieferanten kann die Verhandlungsstärke der Lieferanten geschwächt werden. Analoges gilt für neue Nachfrager im Markt. Dieser Aspekt kann eigenständig im Rahmen der Verhandlungsstärke der Lieferanten oder im Zusammenhang mit der Intensität der Rivalität der Nachfrage behandelt werden. (5) Die Bedrohung durch Ersatzprodukte findet sich bei Porter wie bei uns.

Im Folgenden sollen nun die Elemente der Branchenanalyse kurz skizziert werden. Im Rahmen der Materialfeldanalyse interessieren dabei gleichermaßen die aktuelle Struktur sowie die Prognose der Veränderungen.

- **Angebotsseite**
Die Analyse der Angebotsseite steht im Mittelpunkt der Branchenanalyse in Beschaffungsmärkten. Hierzu muss analog zur Bedarfsanalyse das Leistungsangebot im Markt qualitativ und quantitativ untersucht werden. Ein zentraler Punkt ist in diesem Rahmen die Elastizität, mit der das Angebot auf Mengen- bzw. Preisänderungen reagieren kann.¹⁰³ Neben dem Leistungsangebot ist die Lieferantenstruktur¹⁰⁴ und in Folge die Verhandlungsstärke der Lieferanten der zweite Betrachtungsgegenstand. Ohne dieses Themenfeld an

⁹⁸ Vgl. beispielsweise Bichler, Krohn (Beschaffungs- und Lagerwirtschaft), Schulte (Logistik) S. 294 ff., Wiendahl (Betriebsorganisation) S. 279 ff., Wagner (Demand).

⁹⁹ Zu alternativen Strukturierungen vgl. beispielsweise Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 122 ff. sowie Koppelman (Beschaffungsmarketing) 83 ff.

¹⁰⁰ Vgl. Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 122 ff.

¹⁰¹ Vgl. Porter (Wettbewerbsstrategie) S. 25 ff.

¹⁰² Dieser Aspekt sollte zukünftig näher betrachtet werden.

¹⁰³ Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 122 ff.

¹⁰⁴ Vgl. Large (Beschaffungsmanagement) S. 100 ff., Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 123 sprechen in volkswirtschaftlicher Tradition von Marktstrukturen.

dieser Stelle vertiefen zu können, verweisen wir auf die Determinanten der Verhandlungsmacht von Lieferanten nach Porter in Abbildung 15. Zu beachten ist ferner, dass im Rahmen der Branchenanalyse auch die vorgelagerten Beschaffungsmärkte von bedeutsamen Komponenten im Auge behalten werden müssen.

Für eine hohe Verhandlungsmacht von Lieferanten spricht:

- Konzentration der Lieferanten (stärker als die Konzentration der Abnehmer)
- Keine Ersatzprodukte
- Das Auftragsvolumen der Branche ist für den Lieferanten relativ unwichtig.
- Die Leistung der Lieferanten ist für das Geschäft der Abnehmer wichtig.
- Leistungsdifferenzierung der Lieferanten
- Lieferanten können glaubhaft mit Vorwärtsintegration drohen.
- Abnehmer können nicht glaubhaft mit Rückwärtsintegration drohen.
- Umstellungskosten beim Wechsel von Lieferanten

Abbildung 15: Determinanten der Verhandlungsmacht von Lieferanten
Quelle: Porter (Wettbewerbsstrategie) S. 25 ff.

- **Nachfrageseite**
Die Rivalität der nachfragenden Unternehmen um die Leistungen des Beschaffungsmarktes hat wesentlichen Einfluss auf die zu wählende Materialfeldstrategie. Hierbei ist der Wettbewerb mit den Firmen aus der eigenen (absatzseitigen) Branche häufig unproblematischer als der Wettbewerb mit Nachfragern anderer Branchen. Dies mögen zwei kleine Beispiele verdeutlichen. Die Konkurrenz am Stahlmarkt zwischen Herstellern von Spezialmaschinen mit Automobilherstellern ist schon allein aufgrund der unterschiedlichen Bedarfsmengen völlig ungleichgewichtig. Ebenso kann der unterschiedliche Verlauf von Konjunkturzyklen in den später folgenden Branchen zu Versorgungsengpässen führen, da eine Bestellung von zusätzlichen Mengen erst zum Zeitpunkt möglich ist, zu dem die anderen Branchen ihren Zusatzbedarf schon lange gesichert haben. Eine Analyse der Nachfrageseite kann nach ähnlichen Kriterien wie die Analyse der Angebotsseite erfolgen.¹⁰⁵
- **Substitutionsprodukte**
Die Suche nach Alternativen zur Bedarfsdeckung ist eine der zentralen einkäuferischen Tätigkeiten. Wie oben bereits angesprochen kann so beispielsweise die Verhandlungsmacht der Lieferanten verringert werden.
- **Austauschbeziehung**
Die Entwicklung der wirtschaftlichen Leistungen und Gegenleistungen sind letztlich Resultat der bisher aufgezeigten Branchenstruktur. Aufgrund ihrer Bedeutung sollte die Preisentwicklung oder die Entwicklung der Preisnebenbedingungen sowie der Lieferbedingungen gesondert betrachtet werden.

Zur Entwicklung und zur Konkretisierung einer Branchenstrukturanalyse für Beschaffungsmärkte sehen wir einen umfangreichen Forschungsbedarf (vgl. Forschungsleitfrage 11).

Die Entwicklungen in den einzelnen Materialfeldern werden wesentlich von dem weiteren gesellschaftlichen und politischen Umfeld, der so genannten allgemeinen Umwelt, beeinflusst. Die einzelnen Umweltfaktoren wirken sich in den verschiedenen Materialfeldern aus. So ist in der praktischen Umsetzung darauf zu achten, dass die Vorgaben der allgemeinen Umweltanalyse für die verschiedenen Materialfelder abgestimmt formuliert sind. Steimann / Schreyögg strukturieren die Analyse der allgemeinen Umwelt folgendermaßen:¹⁰⁶

¹⁰⁵ Vgl. Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 125 ff.

¹⁰⁶ Steinmann, Schreyögg (Management) S. 159 ff.

- **Makroökonomische Umwelt**
Die allgemeine Konjunkturlage wirkt sich über die Absatzmärkte intensiv auf die Branchenkonjunktur der einzelnen Materialfelder aus. Zu beachten sind natürlich wesentliche regionale bzw. branchenmäßige Differenzen.
- **Technologische Umwelt**
Wesentliche Technologiesprünge außerhalb der betrachteten Branche können ganz wesentlichen Einfluss auf die aktuelle Branchensituation haben. Man denke beispielsweise an die Auswirkungen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien für nahezu alle Branchen. Auch Fertigungstechnologien können Branchenstrukturen radikal verändern.
- **Politisch-rechtliche Umwelt**
Die politischen und rechtliche Rahmenbedingungen können die Branchensituation grundlegend restrukturieren. Die Veränderungen einer deutschen Wiedervereinigung sind allen noch bekannt. Die Osterweiterung der Europäischen Union oder die Westöffnung Chinas werden ebenso fundamental die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen neu gestalten.
- **Sozio-kulturelle Umwelt**
Demographische Entwicklungen oder Veränderungen von Wertmustern wirken sich indirekt über die Entwicklung der Absatzmärkte auf die Beschaffungsmärkte aus. Ebenso können sich auch direkte Auswirkungen auf die Beschaffungsmärkte ergeben. Beispielsweise kann die mentale Globalisierung den Weg für Global Sourcing bereiten.
- **Natürliche Umwelt**
Die Konsequenzen für die natürliche Umwelt sind natürlich auch im Rahmen der Beschaffungsmärkte zu berücksichtigen. Dies trifft nach Steinmann Schreyögg den technischen Herstellungsprozess der jeweiligen Produkte, den Ressourcenverbrauch, die Abfallprodukte des Herstellungsprozesses sowie die Folgewirkung der hergestellten Güter. Die Verlagerung der Produktion in Regionen, in denen mit der natürlichen Umwelt weniger sensibel umgegangen wird, wird zwar im Rahmen des Global Sourcing praktiziert, wird aber global gesehen keine Lösung darstellen.

Die Analyse der aktuellen Versorgungslage ist das dritte Element der Materialfeldanalyse. Hierzu werden die Lieferantenstruktur, die Lieferantenbeziehungen, die regionale Verteilung der Beschaffungsquellen, die genutzten Bedarfsbündelungen sowie die aktuellen Versorgungsprozesse analysiert. Da die Analysestruktur sich mit den Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie weitestgehend deckt, verzichten wir hier auf die ausführliche Besprechung und verweisen auf das folgende Kapitel.

Abschließend sei noch auf das Konzept der Beschaffungskonstellationen von Koppelman hingewiesen, in dem die strategische Materialfeldanalyse stark verkürzt wird.¹⁰⁷ "Beschaffungskonstellationen sind Gegebenheiten, Zustände, die das Beschaffungshandeln beeinflussen."¹⁰⁸ Hierbei handelt es sich um Chancen und Risiken, die sich im Beschaffungsumfeld ergeben und auf die reagiert werden sollte. Abbildung 16 gibt einen Überblick über die Struktur der Beschaffungskonstellationen nach Koppelman und über checklistenhaft aufgelistete Beispiele. Problematisch bleibt unserer Einschätzung nach der wenig gestalterische Ansatz, der dieser Vorgehensweise zugrunde liegt. Letztlich wird nur auf Veränderungen im internen oder externen Umfeld der Beschaffung reagiert. Für weniger bedeutsame Materialgruppen, die mit eingeschränktem Aufwand gesteuert werden sollen, kann hierin allerdings eine pragmatische sinnvolle Vorgehensweise liegen.

¹⁰⁷ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 85 ff.

¹⁰⁸ Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 85.

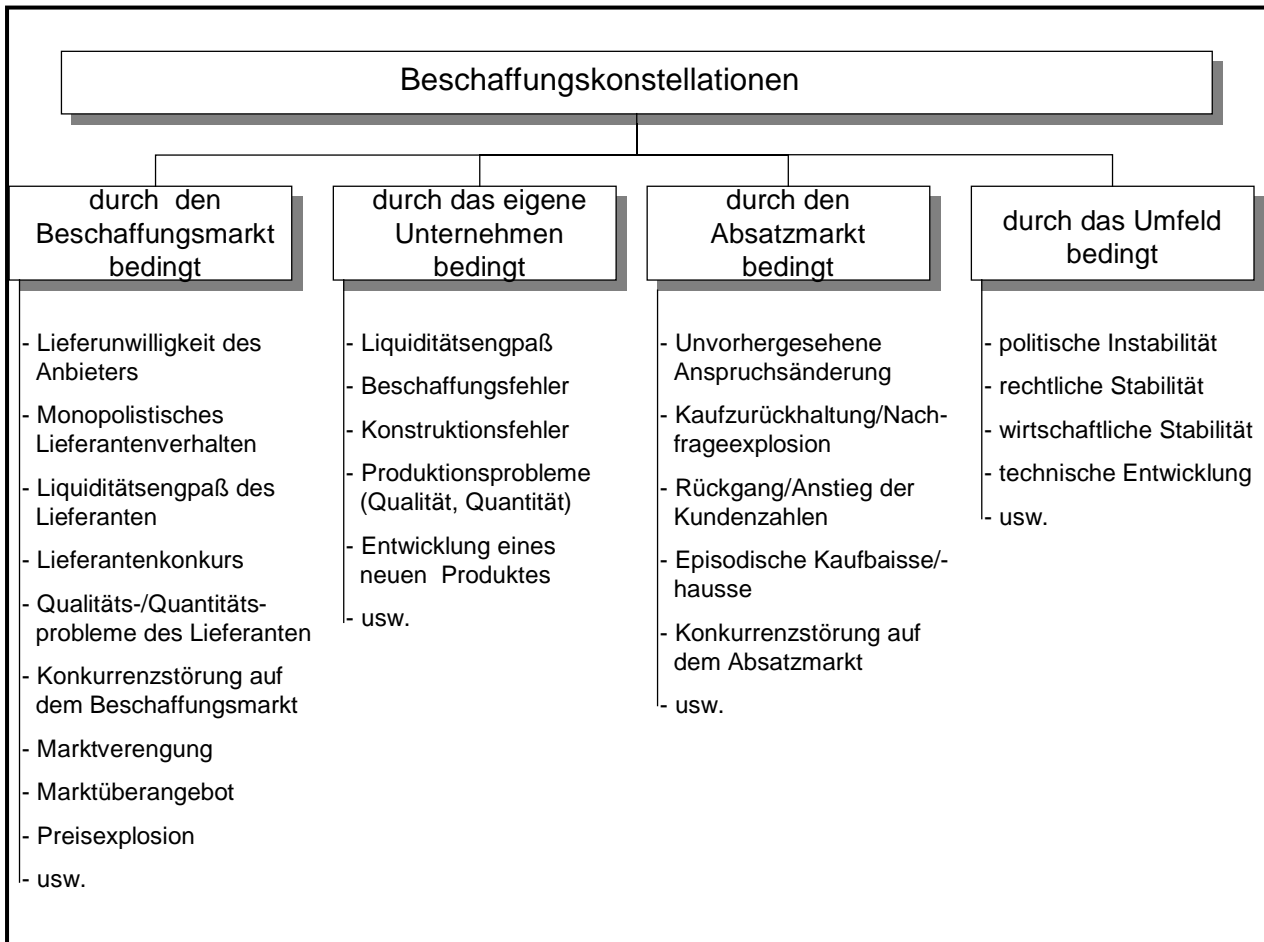


Abbildung 16: Struktur und Beispiele von Beschaffungskonstellationen
Quelle: Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 89.

Frage 11:

Wie kann die Materialfeldanalyse sinnvoll strukturiert werden?

6. Materialfeldoptionen: Gestaltungsdimensionen der Materialfeldstrategie

Nach der Materialfeldanalyse wenden wir uns den Gestaltungsdimensionen innerhalb einer Materialfeldstrategie zu. Trotz der notwendigen Individualität von Strategien - so die Grundidee dieses Abschnittes - lassen sich die wesentlichen Gestaltungsdimensionen der Materialfeldstrategie systematisieren und für jede Dimension (hoch aggregiert) typische Ausprägungen bestimmen. Eine völlig konkretisierte Handlungsanweisung für die Praxis kann damit noch nicht formuliert werden. Diese muss vielmehr in der jeweiligen Handlungspraxis ausformuliert werden. Beispielsweise werden wir die Beziehung zum Lieferanten als Gestaltungsdimension identifizieren. Ausprägungen sind - hoch aggregiert - die partnerschaftliche Zusammenarbeit sowie die transaktionsorientierte Zusammenarbeit. Die Partnerschaft bzw. die Transaktionsbeziehungen sind als generische Grundstrategien in der konkreten Situation auszugestalten. An diesem Beispiel wird deutlich, dass damit ein hinreichender Spielraum für die individuelle Strategieformulierung bleibt; selbst wenn wir im Rahmen unserer zukünftigen Forschungsbemühungen die Gestaltungsdimensionen und ihre Ausprägungen nochmals konkretisieren. Insgesamt liegt der Nutzen unserer Vorgehensweise in der systematischen Analyse und Beurteilung der relevanten Handlungsfelder.

In diesem Abschnitt wollen wir also die Gestaltungsdimensionen einer Beschaffungsstrategie strukturieren und die jeweiligen typischen Ausprägungen isoliert betrachten. Als Basis unserer Systematisierung dienen zu-

nächst die vielfältigen partikularen Abhandlungen zu strategischen Einzelfragen des Beschaffungsmanagements.¹⁰⁹ Alle wesentlichen Fragestellungen sollten in unserer Betrachtung einen systematischen Platz finden. Eine erste Ordnungsleistung dieser Einzelfragen findet sich in den so genannten Sourcing-Konzepten, die wir im folgenden Abschnitt kurz vorstellen. Allerdings werden in den Sourcing-Ansätzen die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Gestaltungsdimensionen sowie zwischen der Branchensituation und den Gestaltungsdimensionen nicht explizit berücksichtigt. Wir wenden uns dieser Fragestellung dann in Kapitel 7 zu.

6.1 Sourcing-Konzepte

Wir wollen folgend exemplarisch drei der ausgereiftesten Sourcing-Konzepte vorstellen, den Sourcing-Würfel von Corsten, die Sourcing-Toolbox von Arnold und das 4-Ebenen-Modell von Lieberum.¹¹⁰ Auf dieser Basis werden wir dann unsere Systematik entwickeln.

Corsten hebt in seinem Sourcing-Würfel drei Gestaltungsdimensionen einer integrierten Beschaffungsstrategie hervor (vgl. Abbildung 17):¹¹¹

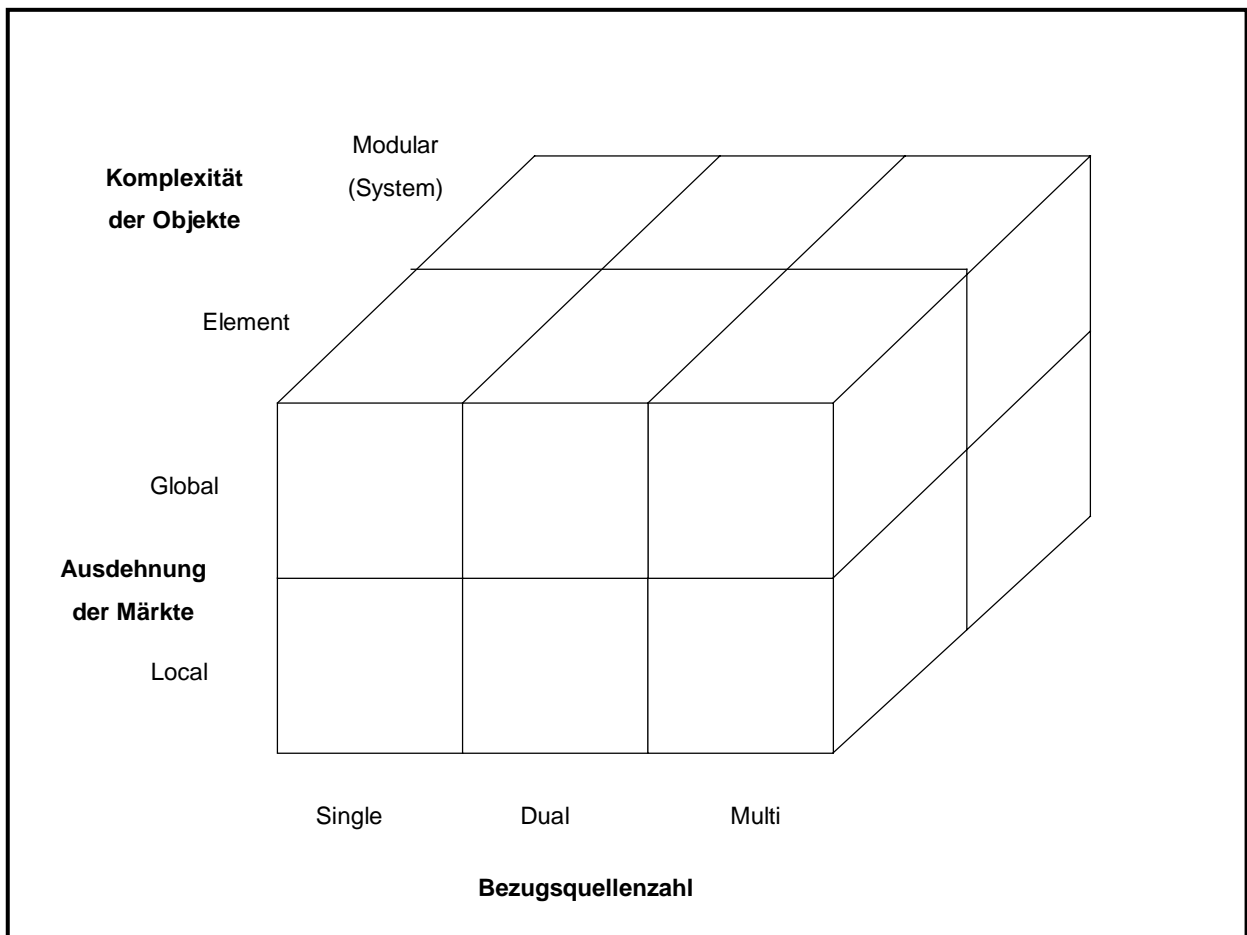


Abbildung 17: Sourcing-Würfel
Quelle: Corsten (Beschaffungsmanagement) S. 573 ff.

¹⁰⁹ Vgl. unsere Ausführungen im Eingangskapitel zu den vier Strömungen der Behandlung des Strategieproblems in der Beschaffung.

¹¹⁰ Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) sowie Lieberum (4-Ebenen-Modell) S. 17 ff. geben jeweils einen guten Überblick über wesentliche Sourcing-Ansätze.

¹¹¹ Corsten (Beschaffungsmanagement) S. 573 ff.

- Die Objektkomplexität mit den zwei Ausprägungen Element Sourcing, d.h. der Beschaffung einzelner Teile sowie Komponenten, und Modular bzw. System Sourcing
- Die regionale Ausdehnung der Beschaffungsmärkte mit der Unterscheidung in lokale und globale Strategien
- Die Bezugsquellenzahl mit der Einteilung in Single, Dual und Multiple Sourcing

Im Sourcing-Würfel werden die Gestaltungsdimensionen vollständig miteinander kombiniert, so dass insgesamt 12 Teilstrategien (2*2*3) identifiziert werden. Problematisch an diesem Ansatz ist schon allein die geringe Differenzierung. Wesentliche Gestaltungsdimensionen sind nicht berücksichtigt und die Ausprägungen innerhalb der ausgeführten Dimensionen sind hoch aggregiert. Krokowski schlägt ein etwas differenzierteres Konzept vor, in dem zusätzlich die Prozessdimension aufgenommen und die regionale Ausdehnung mit einer dritten Ausprägung (Domestic Sourcing) ergänzt wird. Insgesamt bleibt auch dieser Ansatz zu unspezifisch.¹¹²

Die Sourcing-Toolbox von Arnold / Eßig erweitert die Zahl der Gestaltungsdimensionen und erhöht die inhaltliche Differenzierung innerhalb der einzelnen Strategiedimensionen. Arnold / Eßig unterscheiden folgende Gestaltungsdimensionen (vgl. Abbildung 18):¹¹³

Lieferant (L)	Sole	Single	Dual	Multiple
Beschaffungsobjekt (O)	Unit	Modular	System	
Beschaffungsareal (A)	Local	Domestic	Global	
Beschaffungszeit (Z)	Stock	Demand Tailored	Just-in-Time	
Beschaffungssubjekt (S)	Individual		Cooperative	
Wertschöpfungsort (W)	External		Internal	

Abbildung 18: Sourcing Toolbox
Quelle: Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 126 ff.

¹¹² Krokowski (Globalisierung) S. 6.

¹¹³ Wir beziehen uns hier zunächst auf die Sourcing-Toolbox in Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 126 ff. Vgl. auch Arnold (Sourcing-Konzepte) aus dem Jahr 1996 sowie die unten besprochene Modifikation in Arnold (Global Sourcing).

Lieferanzahl: Neben Single, Dual und Multiple Sourcing führen Arnold / Eßig noch "Sole Sourcing" ein. Hierbei handelt es sich um Single Sourcing in einem monopolistischen Beschaffungsmarkt.

- Beschaffungsobjekt: Unit, Modular, System: Im Unterschied zum Modular Sourcing umfasst System Sourcing auch wesentliche Entwicklungsleistungen. Ferner beziehen sich Module eher auf logistisch-fertigungstechnisch ausgerichtete Objekte, während Systeme auf die funktional-entwicklungstechnische Integration abzielen.
- Beschaffungsareal: Local, Domestic, Global
- Beschaffungszeit: Stock, Demand Tailored, Just-in-Time: Bei Demand Tailored handelt es sich um die klassische auftragsbezogene Bestellung von Materialien.¹¹⁴
- Beschaffungssubjekt: Individual, Cooperative: Cooperative bezieht sich auf Einkaufskooperationen.
- Wertschöpfungsort: External, Internal: Während eine externe Produktion von Lieferantenleistungen eher die Regel darstellt, umfasst die interne Strategie aktuelle Themen wie Industrieparks, Shop-in-the-shop-Konzepte oder Einbau der Komponente in das Endprodukt durch den Lieferanten.

Jenseits der inhaltlichen Diskussion der einzelnen Dimensionen sowie der Frage, inwieweit das System für die Praxis hinreichend ausdifferenziert ist, ist zu konstatieren, dass die einzelnen Strategiedimensionen rein additiv zu verstehen sind. So wird unproblematisch in einer späteren Veröffentlichung die Dimension Wertschöpfungsort gegen die Dimension Technologie (Manuel bzw. Electronic) ausgetauscht sowie auf die Ausprägung Domestic innerhalb der Arealstrategie verzichtet.¹¹⁵ Ferner wird noch die Unterscheidung zwischen strategisch und operativ eingeführt. Eine Systematik, die den Handlungsrahmen aufspannt und auch zukünftige Entwicklungen im Beschaffungsmanagement integrieren kann, findet sich bei Arnold / Eßig sowie insgesamt innerhalb der Sourcing-Ansätze nicht.

Die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Strategiedimensionen werden nicht näher analysiert. Vielmehr verstehen Arnold / Eßig die Sourcing-Toolbox methodisch als "morphologischen Kasten", innerhalb dessen mehr oder minder beliebig nach Kombinationen gesucht wird.¹¹⁶ Eine nähere Verknüpfung zwischen der Handlungssituation und der Beschaffungsstrategie findet sich hier, wie auch in den anderen Sourcing-Konzepten, nicht.

Einen Schritt weiter geht Lieberum in seinem Vier-Ebenen-Modell insofern, dass er die einzelnen Gestaltungsdimensionen in einen hierarchisch geordneten Ableitungszusammenhang stellt (vgl. Abbildung 19).¹¹⁷

- Make-or-Buy-Entscheidung: Im ersten Schritt soll über den Zukauf von Leistungen entschieden werden.
- Objektebene: System, Modular, Element: Dabei wird die Objektebene in engem Zusammenhang mit der Make-or-Buy-Entscheidung gesehen. Letztlich wird im Rahmen der Entscheidung über Modular bzw. System Sourcing der Grad der Wertschöpfungstiefe und damit die Entscheidung zu Make-or-Buy festgelegt.
- Arealstrategie: Die Arealentscheidung mit den Ausprägungen Global, International, National, Regional stellt die dritte Entscheidungsebene dar.
- Individualbeziehungsebene: Hier steht die Gestaltung der Beziehung zu einzelnen Lieferanten im Mittelpunkt. Lieberum unterscheidet auf dieser vierten Ebene drei Gestaltungsdimensionen: (1) Art der Marktbearbeitung: aggressiv, kooperativ, passiv; (2) Anzahl der Marktpartner: single, multiple; (3) Fristigkeit der Bindung: kurzfristig, langfristig

Während uns - wie ausgeführt - die ersten beiden Ebenen nicht trennscharf erscheinen, können wir die hierarchische Struktur zwischen der Arealstrategie und der Individualbeziehungsebene nicht nachvollziehen. Weshalb sollte beispielsweise die Festlegung auf eine globale Marktbearbeitung vor der Entscheidung über Single Sourcing erfolgen?

¹¹⁴ Nicht nachvollziehbar ist, weshalb Arnold / Eßig hier von einem neuen Prinzip sprechen. Neu ist nur die anglistische Namensgebung. Auch die Abgrenzung zwischen Just-in-Time und fertigungssynchroner Anlieferung bleibt etwas unscharf. Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 126 f.

¹¹⁵ Arnold (Global Sourcing) S. 208 ff.

¹¹⁶ Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 128.

¹¹⁷ Lieberum (4-Ebenen-Modell) S. 30 ff. Vgl. hierzu auch das Modell von Krampf (Beschaffungsmanagement), das wir oben in Kapitel 2.2 vorgestellt und diskutiert haben.

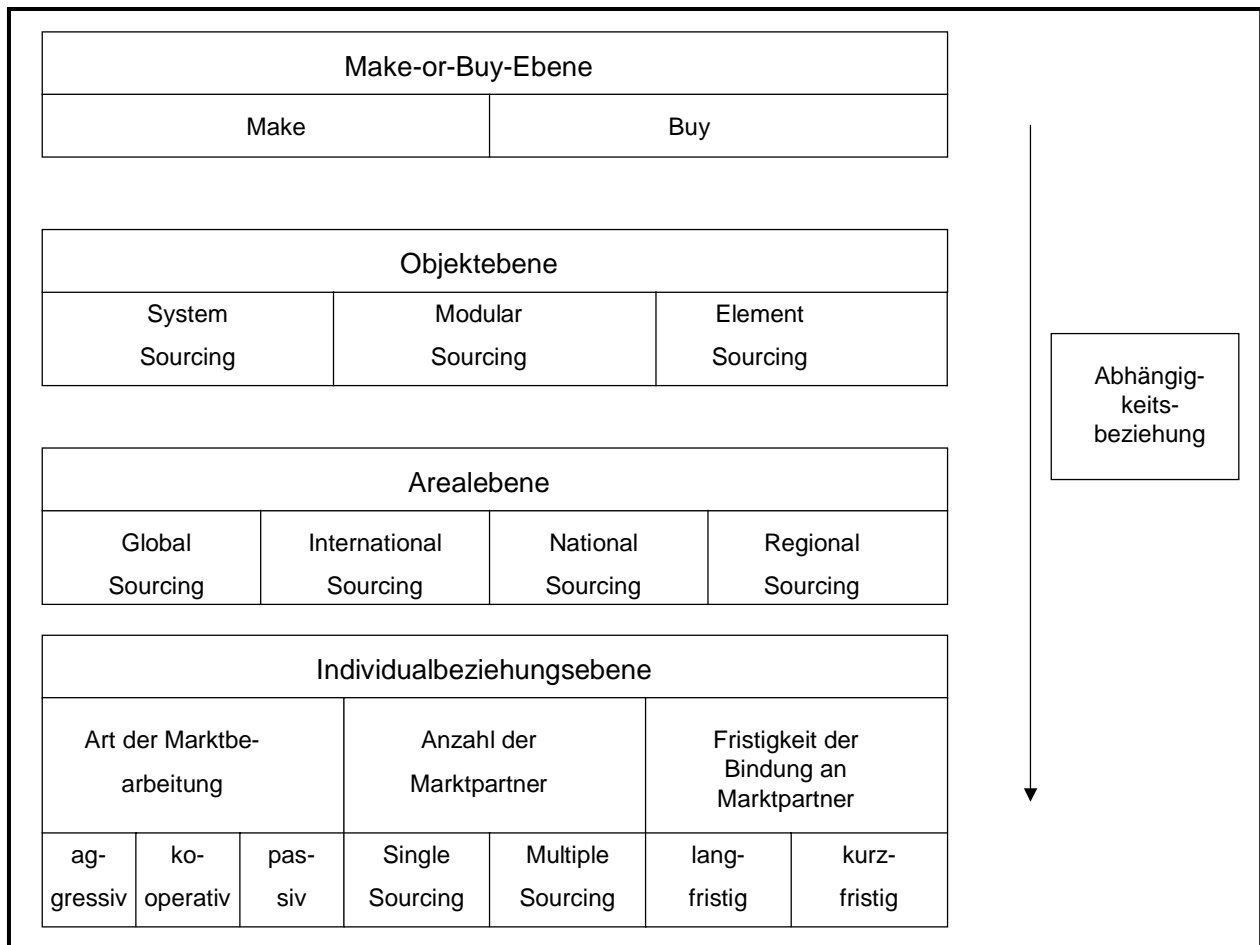


Abbildung 19: 4-Ebenen-Modell nach Lieberum
 Quelle: Lieberum (4-Ebenen-Modell) S. 31.

Als Gesamturteil zu den Sourcing-Konzepten kann zusammengefasst werden, dass sie eine erste Ordnungsleistung in die vielfältigen Gestaltungsdimensionen einer Beschaffungsstrategie bringen. Unbefriedigend bleibt allerdings die inhaltliche Ausdifferenzierung im Hinblick auf die gewählten Gestaltungsdimensionen sowie deren Ausprägungen. Problematisch erscheinen uns ferner die weitestgehend systemlose und additive Vorgehensweise sowie der Mangel an aggregierten strategischen Mustern.

6.2 Modell zur Systematisierung der Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie

Zur Entwicklung unseres Bezugsrahmens gehen wir von einem generischen Marktmodell der Beschaffung aus (vgl. Abbildung 20). Ein Nachfrager (3) bezieht von (Liefer-)Quellen (2) Beschaffungsobjekte (1). "Beziehen" steht hierbei für Prozesse im weiten Sinne (4). Unter Berücksichtigung der Einflussnahme auf das Umfeld (5) ergibt sich damit unsere Systematik zur Ordnung der Gestaltungsdimensionen der Beschaffungsstrategie. Wir werden die einzelnen strategischen Felder skizzieren. Allerdings müssen wir auch an dieser Stelle einen erheblichen Forschungsbedarf konstatieren (Forschungsleitfrage 12 bis 16).

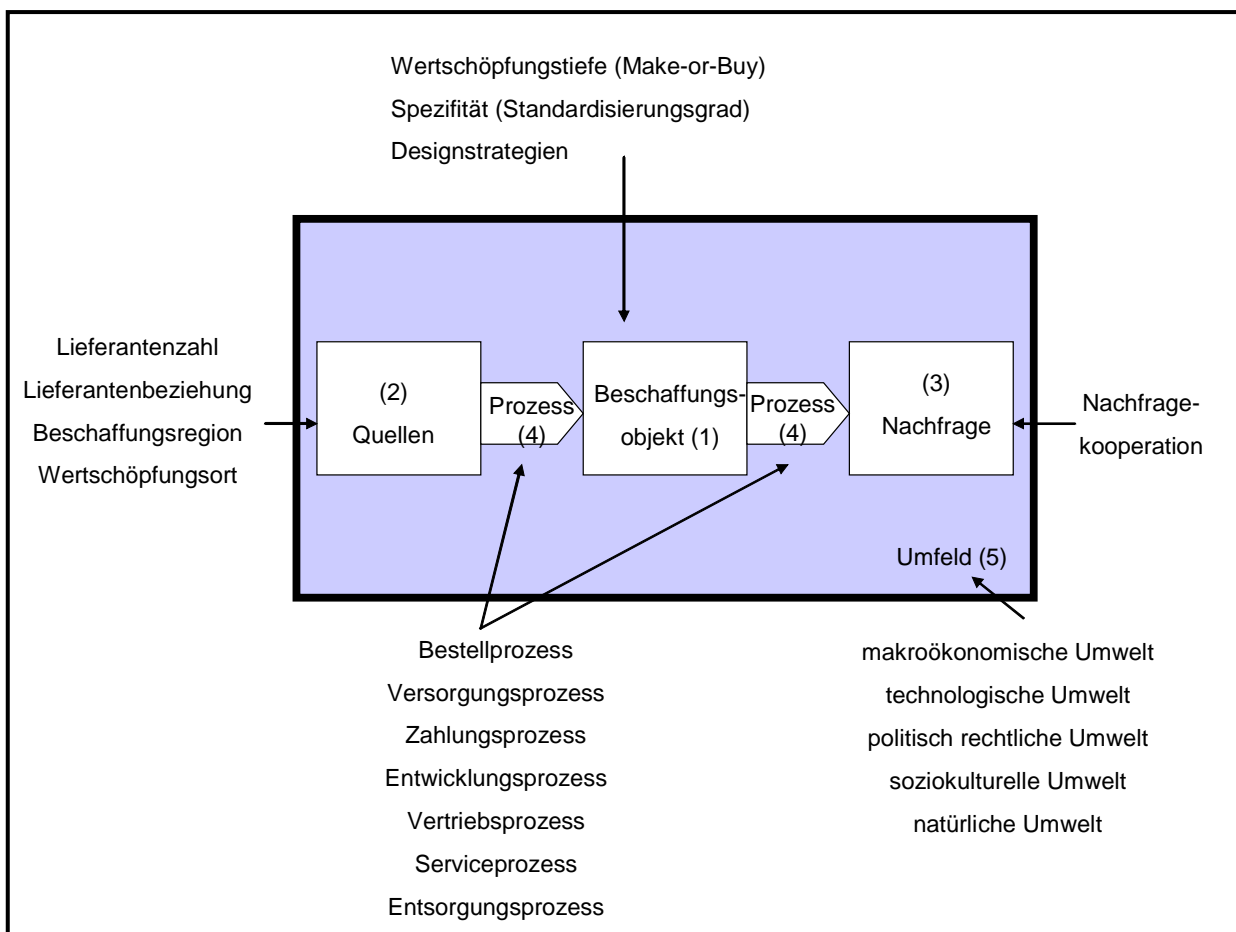


Abbildung 20: Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie

(1) Objektorientierte Gestaltungsdimensionen

(1.1) Wertschöpfungstiefe

Die systematisch gesehene erste Gestaltungsdimension zielt auf die Frage, ob eine Leistung zugekauft oder im Unternehmen erstellt werden soll. Hierbei ist zu beachten, dass diese Frage häufig nicht digital im Sinne Make-or-Buy, sondern graduell nach der Wertschöpfungstiefe zu entscheiden ist. So können beim Zukauf von Autositzen entweder die kompletten Sitze zusammen mit der dazugehörigen Engineeringleistung oder einzelne Sitzkomponenten, die im Unternehmen montiert werden, oder die einzelnen für eine Sitzproduktion benötigten Materialien eingekauft werden. Wir unterscheiden drei Kategorien zur Gestaltung der Wertschöpfungstiefe: Element Sourcing¹¹⁸ bezieht sich auf die Beschaffung von Einzelteilen sowie kleineren Komponenten. Die Abgrenzung zur zweiten Kategorie, zum Modular Sourcing, der Beschaffung umfangreicher abgegrenzter Leistungseinheiten, bleibt (bisher) unscharf. Hierbei werden Module - wie oben bereits ausgeführt - nach logistisch-fertigungstechnischen Gesichtspunkten gebildet. Hingegen werden beim System Sourcing, der dritten Kategorie, unter funktionalem Blickwinkel alle zur Funktionserfüllung benötigten Aufgabenumfänge gemeinsam beauftragt, so dass der Lieferant umfassend in die Verantwortung genommen werden kann. Eine weitere Differenzierung der drei Ausprägungen erscheint sinnvoll.

Angemerkt sei, dass die Make-or-Buy-Entscheidung nicht alleine im Einkauf, sondern nur in Zusammenarbeit mit den anderen betroffenen Abteilungen (insbesondere Fertigung bzw. Entwicklung) getroffen werden. Im Gegensatz zur Situation früherer Jahre, in denen der Einkauf die Make-or-Buy-Entscheidungen anderer Abteilun-

¹¹⁸ Vgl. Corsten (Beschaffungsmanagement). Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 127 sprechen von "Unit Sourcing".

gen auszuführen hatte, sollte die Beschaffungsstrategie mindestens gleichrangig neben den Strategien anderer Kernprozesse stehen. Es ist sogar sinnvoll, den Einkauf als Processowner des Versorgungsprozesses mit dem Lead bei Make-or-Buy-Entscheidungen zu beauftragen.

Soweit es sich allerdings um Verlagerungsentscheidungen ganzer Betriebsteile oder Standorte handelt, erhält die Make-or-Buy-Entscheidung unternehmensstrategische Bedeutung und ist von der Geschäftsleitung zu verantworten. Der Einkauf wird hier Informationen zur Entwicklung und Bewertung des Alternativenrahmens beitragen.

(1.2) Spezifität

Individualisierung und Standardisierung sind die polaren Ausprägungen innerhalb der Gestaltungsdimension "Spezifität" einer Leistung.¹¹⁹ Hierbei zielt die Standardisierung von Teilen im Wesentlichen auf die Einsparung von Prozesskosten im Unternehmen sowie beim Lieferanten. Im Unternehmen führt ein hoher Standardisierungsgrad zur Vereinfachung der Datenpflege sowie der Bestellabwicklung. Ggf. kann die Lieferantenzahl und damit der Aufwand für das Lieferantenmanagement reduziert werden. Einsparungen im Rahmen der Materialversorgung ergeben sich beispielsweise über eine vereinfachte Lagerhaltung. Ferner können sich in der Produktion Handlingkosten sowie Fehlleistungskosten aufgrund der höheren Erfahrung mit den Materialien reduzieren. Die Kostenvorteile, die der Lieferant durch Einsparungen in der Entwicklung bzw. aufgrund von economies of scale realisieren kann, können durch Preisnachlässe zumindest zum Teil internalisiert werden. Andererseits verlangen spezifische Kundenanforderungen individuelle Problemlösungen. Ferner vernichten standardisierte Teile und Komponenten Differenzierungspotenziale und damit mögliche Wettbewerbsvorteile beim Endkunden.

Dabei sind es in der Praxis häufig organisatorische Barrieren, die eine höhere Standardisierung von Materialien verhindern. So muss der Entwicklungsingenieur in die Lage versetzt werden, mit vertretbarem Aufwand für seine Problemlösung geeignete und bereits verfügbare Teile oder Komponenten zu identifizieren. Zeitdruck oder auch das bekannte Not-invented-here-Syndrom wirken sich auf die Bereitschaft zur Standardisierung aus. In diesem Spannungsfeld ist der Standardisierungsgrad bzw. der Grad an Spezifität festzulegen. Hierbei muss in der Praxis cross-funktional über die Abteilungsgrenzen hinweg (z.B.: Entwicklung, Vertrieb, Produktion, Einkauf, Logistik, Qualität) zusammengearbeitet werden.

Wir unterscheiden vier Ausprägungen:¹²⁰ (1) Auftragspezifische (zeichnungsgebundene) Teile werden direkt für einen Kundenauftrag entwickelt und gefertigt. Sie sind (zunächst) für weitere Aufträge nicht vorgesehen. (2) Mit der Definition von Firmenstandards wird versucht, Standardisierungsvorteile zu realisieren, ohne auf die Differenzierung vom Wettbewerb zu verzichten. Die Plattformkonzepte oder Carry-over- bzw. Carry-Forward-Strategien¹²¹ in der Automobilindustrie mögen hier als Beispiele dienen.¹²² (3) Lieferantenspezifische Teile, so genannte Katalogware, zielen auf Standardisierungsvorteile durch die gemeinsame Verwendung mit anderen Abnehmern. (4) DIN- und Normteile bzw. Marktstandards sind Standards, die sowohl anbieter- als auch nachfragerseitig akzeptiert und teils durch staatliche Regelungen abgesichert sind. Das Risiko, dass DIN-normgerechte Produkte aus dem Markt verschwinden, ist sicherlich geringer als bei der so genannten Katalogware.

(1.3) Designstrategien

Die Optimierung des Designs eines Teils bzw. einer Komponente stellt die dritte objektorientierte Gestaltungsdimension dar. Hierbei unterscheiden wir zwischen kundenorientierten und prozessorientierten Strategien. Bei den kundenorientierten Designstrategien dienen die Kundenanforderungen als Maßstab für die Verbesserung

¹¹⁹ Vgl. beispielsweise Delfmann (Standardisierungsstrategien) S. 431 f.

¹²⁰ Vgl. Large (Beschaffungsmanagement) S. 69 unterscheidet (1) abnehmerspezifische Zeichnungsteile, (2) anbieterspezifische Katalogteile, (3) beziehungsspezifische Materialien (Gemeinschaftsentwicklungen) sowie (4) unspezifische Normteile.

¹²¹ Carry-Over-Strategien bedeuten, dass Komponenten von einem Fahrzeugmodell auf andere Fahrzeugmodelle übernommen werden sollen. In Carry Forward-Strategien wird bereits anfangs eine Komponentenstrategie für eine ganze Produktlinie aktiv gestaltet.

¹²² Vgl. Schuff (Entwicklungsperspektiven) S. 60 ff. Im Ergebnis führen Standardisierungsstrategien bei BMW zu einem Komponentenüberdeckungsgrad zwischen zwei Modellen von bis zu 80 %.

gen. Wird die Leistungsfähigkeit des Endproduktes aus Kundensicht gesteigert, sprechen wir von Innovationsstrategien. Bei Design-to-Cost-Strategien ist hingegen ein Zielpreis und damit die kostengerechte Produktgestaltung im Fokus. Bei den prozessorientierten Designstrategien wird das Komponentendesign in Hinblick auf die effektive und effiziente Prozessrealisierung optimiert. Beispielsweise kann das Komponentendesign fertigungs- oder montagegerecht gestaltet werden. Im Prinzip können hier alle Prozesse aufgelistet werden, die vom Design der zugekauften Leistung beeinflusst werden. Die Substitution eines Teils durch andere Teile kann sowohl kundenorientiert wie prozessorientiert veranlasst sein, so dass wir diese Vorgehensweise zweimal aufgenommen haben.

In der Praxis werden sich die einzelnen Designstrategien nicht voneinander isolieren lassen. Idealerweise sollten in der Designstrategie alle Optimierungsgesichtspunkte gleichzeitig abgewogen werden. Hierbei wird meist die Entwicklung die Führungsrolle übernehmen und der Einkauf die Lieferantenschnittstelle (kaufmännisch) aussteuern. Eine Zusammenfassung der objektorientierten Gestaltungsdimensionen findet sich in Abbildung 21.

Objektorientierte Gestaltungsdimensionen	
Wertschöpfungstiefe (Make-or-Buy)	<ul style="list-style-type: none"> - System Sourcing - Modular Sourcing - Element Sourcing (Unit Sourcing)
Spezifität (Standardisierungsgrad)	<ul style="list-style-type: none"> - Auftragspezifisches (zeichnungsgebundenes) Teil - Firmenstandard: Plattformstrategien bzw. firmenspezifische Teile - Lieferantenstandard: Katalogware - Marktstandard: DIN- und Normteile; De-facto-Standard
Designstrategien	<ul style="list-style-type: none"> Kundenorientiertes Produktdesign - Innovation - Design to Cost - Substitution - ... Prozessorientiertes Produktdesign - Design to manufacture - Design to assemble - Design to logistics - Design to dispose - Substitution - ...

Abbildung 21: Objektorientierte Gestaltungsdimensionen

(2) Quellenorientierte Gestaltungsdimensionen

(2.1) Lieferantenzahl

Die Entscheidung über die Zahl der Lieferanten eines Teils ist eine klassische und breit diskutierte Gestaltungsdimension.¹²³ Hierbei sprechen für eine kleine Lieferantenzahl Betriebsgrößenvorteile beim Lieferanten und in Folge Bündelungsvorteile beim Abnehmer, Transaktionskostenvorteile der Austauschbeziehungen sowie Öffnung der Potenziale einer partnerschaftlichen Zulieferbeziehung (vgl. unten Dimension 2.2). Risiken einer kleinen Lieferantenzahl sind eine steigende Lieferantenmacht, eine verringerte Versorgungssicherheit so-

¹²³ Vgl. beispielsweise die breite Diskussion bei Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 186 ff. sowie bei Homburg (Lieferantenzahl) S. 181 ff.

wie ein reduzierter Innovationswettbewerb.¹²⁴ Obwohl derzeit der Trend in Richtung Verringerung der Lieferantenzahl geht, erscheint uns eine derartige Simplifizierung sehr gefährlich.¹²⁵

Neben den grundlegenden Ausprägungen Single, Dual, Multiple gibt es eine Vielzahl von Varianten. Wir haben neben dem sicherlich problematischen Fall "Sole", den wir oben bereits beschrieben haben, noch das Parallel Sourcing als Ausprägung aufgenommen. Hierunter verstehen wir zwei oder mehr Lieferanten eines Teils, die für einzelne Standorte bzw. für einzelne Produktlinien jeweils exklusiv im Sinne des Single Sourcing liefern.¹²⁶ Somit ergeben sich verschiedene Vorteile des Single Sourcing, ohne sich gleichzeitig vom Lieferanten zu sehr abhängig zu machen. Notfalls kann einer der parallelen Lieferanten einspringen.

Bezeichnend ist, dass die Diskussion der Lieferantenzahl meist nur auf der Ebene des Gesamtunternehmens und der Ebene einzelner Beschaffungsobjekte diskutiert wird. So beginnt Homburg noch im Jahre 2002 seinen Artikel zur optimalen Lieferantenzahl folgendermaßen: "Bei der Bestimmung der optimalen Lieferantenzahl lassen sich zwei Betrachtungsebenen differenzieren: die Lieferantenzahl des Unternehmens und die Lieferantenzahl pro Beschaffungseinheit."¹²⁷ Die Lieferantenzahl auf Materialfeldebene wird kaum angesprochen.¹²⁸ Dies ist unverständlich, weil gerade auf der Materialfeldebene wesentliche entscheidungsrelevante Aspekte analysiert werden können. Man denke beispielsweise an die Rivalität zwischen den Lieferanten oder an die Möglichkeit, parallele Lieferanten zu unterschiedlichen Materialien in einem Materialfeld zu entwickeln, so dass keine Abhängigkeiten entstehen (vgl. Parallel Sourcing). Optimierungsansätze auf Materialfeldebene müssen dabei berücksichtigen, inwieweit Lieferanten technisch, wirtschaftlich¹²⁹ und rechtlich in der Lage sind, Beschaffungsobjekte anderer Lieferanten zu substituieren. Auch die Frage nach den Bündelungsvorteilen relativiert sich über das Beschaffungsvolumen in verschiedenen Segmenten des entsprechenden Beschaffungsmarktes. In der Konkretisierung der Optimierung der Lieferantenzahl auf Materialfeldebene liegt unseres Erachtens eine interessante Forschungsfrage.¹³⁰

(2.2) Lieferantenbeziehung

Die Gestaltung der Beziehung zum Lieferanten ist eine der zentralen Fragen im Lieferantenmanagement, die entsprechend intensiv diskutiert wird.¹³¹ Dabei wird zwischen der transaktionsorientierten und der partnerschaftlichen Lieferantenbeziehung als Extrempositionen unterschieden. Die transaktionsorientierte Lieferantenbeziehung kann als der "Normalfall" in einer Marktwirtschaft verstanden werden. Der Lieferant und der Abnehmer tauschen in einer solchen Beziehung Leistung und Gegenleistung im Rahmen einzelner abgegrenzter Verträge aus. Dabei überblicken beide Vertragsparteien die Tragweite des Vertrages und können letztlich alle (wesentlichen) transaktionsrelevanten Aspekte im Vertrag internalisieren. Die Ausstrahlungseffekte aus früheren Verträgen bzw. für zukünftige Verträge beeinflussen den aktuellen Vertrag bestenfalls marginal. Ferner spielt hierbei keine Rolle, ob der Vertrag kurz- oder langfristig angelegt ist. Die Gestaltung der Verhandlungsmacht¹³² hingegen wird in solchen Rahmenbedingungen häufig zu einem wesentlichen Aktionsparameter beider Vertragsparteien.

Bei einer partnerschaftlichen Lieferantenbeziehung handelt es sich um eine auf Dauer angelegte Kooperation. Beide Seiten erwarten sich aus der Kooperation Vorteile (Win-Win-Situation), so dass eine sinnvolle Partnerschaft eine Steigerung des gemeinsam geschaffenen Wertes voraussetzt. Nach der Transaktionskostentheorie

¹²⁴ Eine ausführliche Diskussion der Vorteile von Single und Multiple Sourcing findet sich beispielsweise bei Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 195 ff.

¹²⁵ Vgl. auch Homburg (Lieferantenzahl) S. 186 mit Verweis auf empirische Studien sowie Large (Beschaffungsmanagement) S. 118.

¹²⁶ Vgl. Wildemann (Einkaufspotentialanalyse) S.79, vgl. ferner Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 190 ff.

¹²⁷ Homburg (Lieferantenzahl) S. 183.

¹²⁸ Vgl. Pfohl, Large (Beschaffungsstrategien) S. 437.

¹²⁹ Man denke beispielsweise an Investitionskosten für Formen und Werkzeuge.

¹³⁰ Vgl. auch Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 187, der in Bezug auf die Bestimmung der optimalen Lieferantenzahl konstatiert, " dass für die praktische Anwendung bisher keine zufrieden stellende Lösung gefunden werden konnte." Vgl. ferner Large (Beschaffungsmanagement) S. 118 f.

¹³¹ Vgl. Beispielsweise die Übersicht bei Boutellier, Wagner (Partnerschaften), Ellram (Partnering), Wagner (Lieferantenmanagement), insbesondere S. 139 ff. sowie Kuhn, Hellingrath (Supply Chain) S. 37 ff.

¹³² Vgl. oben Kapitel 5.

sollte über die Art der Lieferantenbeziehung auf Basis von drei Charakteristika der Transaktionen entschieden werden:¹³³

- **Spezifität:** Mit der Spezifität der Transaktion sind spezifische Investitionen in die Lieferantenbeziehung verbunden. Lassen sich eine an sich rentable Investition nicht innerhalb eines überschaubaren Vertrages amortisieren, kann eine vertrauensvolle Kooperation die Voraussetzungen schaffen, diese Investition trotzdem zu tätigen.
- **Unsicherheit:** Unsicherheiten können zum einen die Rahmenbedingungen betreffen, unter denen ein Vertrag abgeschlossen ist. Innerhalb einer Partnerschaft kann die notwendige Sicherheit geschaffen werden, dass auch bei unvorhersehbaren Entwicklungen die Interessen fair ausgeglichen werden. Zum anderen bezieht sich die Unsicherheit auf das Verhalten der Gegenpartei, insbesondere wenn dies nicht einfach kontrollierbar ist. Umgang mit in der Zusammenarbeit erworbenem Know-how kann hier als Beispiel angeführt werden.
- **Häufigkeit:** Mit steigender Zahl der durchgeführten Transaktionen lernen die Vertragspartner sich kennen und die Unsicherheiten sinken.

Sind Spezifität und Unsicherheit niedrig, wird eine transaktionsorientierte Lieferantenbeziehung empfohlen. Bei hoher Spezifität und Unsicherheit sollte die Transaktion innerhalb einer Organisation ausgeführt werden. Für die Zwischenfälle wird eine partnerschaftliche Lieferantenbeziehung vorgeschlagen.

Charakteristika einer partnerschaftlichen Lieferantenbeziehung ist die gemeinsame integrierte Optimierung der Wertschöpfungskette mit einem mehr oder weniger durchgängigen Informationsfluss. Aufgrund der spezifischen Investitionen sind Partnerschaften auf Dauer angelegt. Basis einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit ist das Vertrauen in den Partner, d.h. die Erwartung, dass er sich in der vereinbarten Weise verhalten wird. Hierzu zählen gleichermaßen die Vertragserfüllung, die Fähigkeit zur angemessenen Leistung sowie die Bereitschaft, Gewinnchancen nicht zu Lasten des Partners opportunistisch auszunutzen. Vielmehr werden Regelungsdefizite im Vertrag über faire Absprachen einvernehmlich gelöst. Die Anwendungsfelder lassen sich nach den Zusammenarbeitsprozessen strukturieren. Einige Beispiele sollen das Grundprinzip verdeutlichen:

Entwicklungsprozess: Entwicklungspartnerschaften können beispielsweise Investitionen in gemeinsame CAD-Systeme (Kosten für Technik, Datenstandards, EDI, Mitarbeiterschulung, ...) erfordern, die sich erst nach mehreren gemeinsamen Projekten rentieren. Ebenso können immense Investitionen in die technische Anpassung der Komponente des Lieferanten an die Schnittstellenspezifikationen des Abnehmers (z.B. im Rahmen der Modularisierung) erst über mehrere gemeinsame Projekte amortisiert werden. Im Rahmen einer gemeinsamen Entwicklung werden regelmäßig vertrauliche Informationen ausgetauscht, deren Schutz vertraglich nicht immer völlig abgesichert werden kann.

- **Bestellprozess:** Die Integration von DV-Systemen zur elektronischen Bestell- und Auftragsabwicklung sind interessante Projekte einer auf Dauer angelegten Zusammenarbeit. In Märkten mit starken Preis- und Auslastungsschwankungen kann es von beiderseitigem Vorteil sein, durch partnerschaftliche Verhaltensweisen die jeweils extremen Marktsituationen abzufedern. Der Verzicht des Lieferanten (bzw. des Abnehmers) in einer für ihn günstigen Situation vertraglich auf Kosten des Marktpartners das Optimum zu erzielen, kann als Investition für die Situation verstanden werden, in der er sich dann in einer schwachen Verhandlungsposition befindet.
- **Materialversorgung:** Abgestimmte Transportsysteme erfordern anfangs hohe Investitionen, z.B. in neue Behälter. Die Einführung von Kanban- oder Just-in-Time-Belieferungen kämpft regelmäßig mit Anlaufproblemen, so dass sie nur Sinn machen, wenn sie auf längere Frist eingeführt werden sollen.
- **Produktionsprozess:** Gemeinsame Wertanalyseprojekte oder integrierte Qualitätsregelkreise sind weitere Beispiele für häufig nur langfristig rentierliche Investitionen.

Eine nähere Ausdifferenzierung der beiden Extrempositionen zur Lieferantenbeziehung schlagen Boutellier / Wagner vor¹³⁴. Sie unterscheiden mit steigender Beziehungsintensität und Beziehungskompetenz sechs Kategorien. :

¹³³ Williamson (Institutionen); Williamson wird im Umfeld des Supply Chain Managements umfangreich rezensiert. Vgl. hierzu beispielsweise Marbacher (Supply) S. 86 ff.

- Einmallieferant
- Qualifizierter Lieferant
- Wiederholllieferant
- Vorzugslieferant
- Industrialisierungspartner
- Entwicklungspartner

Für unsere weiteren Forschungsbemühungen gilt es, die Frage nach der Lieferantenbeziehung auf Materialfeldebene zu diskutieren. Gibt es beispielsweise Muster oder Strukturen der Mischung von partnerschaftlichen und transaktionsorientierten Lieferbeziehungen in Materialfeldern. Ferner ist auch die Frage der Ausdifferenzierung der Beziehungstypen nochmals zu validieren.

(2.3) Beschaffungsregion

Die Gestaltungsdimension Beschaffungsregion bezieht sich auf die regionale Ausdehnung der Beschaffungsmarktaktivitäten. Wir unterscheiden mit Arnold / Eßig drei prinzipielle Ausprägungen:¹³⁵

- Global Sourcing steht für Beschaffungsaktivitäten, die systematisch und strategisch auf den Weltmarkt ausgerichtet werden. Im Gegensatz dazu wird häufig von einer internationalen Beschaffung gesprochen, wenn mehr oder minder zufällig in einigen Auslandsmärkten eingekauft wird. Da es sich hierbei nicht um eine strategische, sondern um eine durch Strategiemangel gekennzeichnete Vorgehensweise handelt, werden wir International Sourcing nicht als Ausprägung aufnehmen.¹³⁶
- Domestic Sourcing konzentriert sich auf den nationalen Binnenmarkt. Im europäischen Binnenmarkt vollzieht sich langsam eine Erweiterung des Domestic Sourcing von beispielsweise einer deutschen oder französischen Beschaffung hin zu einem europäisch orientierten Euro Sourcing.
- Local Sourcing beschränkt sich auf Beschaffungsquellen in der räumlichen Nähe zum Abnehmer. Local Sourcing reduziert in der Regel die Transaktionskosten, soweit eine intensive Präsenz vor Ort oder im Rahmen von störungsanfälligen Just-in-Time-Systemen eine schnelle Reaktion notwendig sind. Der Übergang zwischen Local und Domestic ist im Prinzip fließend.

(2.4) Wertschöpfungsort

Beim Wertschöpfungsort, an dem der Lieferant seine Leistung erbringt, kann zwischen External Sourcing und Internal Sourcing unterschieden werden.¹³⁷

- External Sourcing: Üblicherweise erbringt der Lieferant seine Wertschöpfung in seinen eigenen Produktionsstätten und transferiert die Leistung zum Abnehmer.
- Internal Sourcing:¹³⁸ Arnold / Eßig unterscheiden drei Stufen der räumlichen Integration der Lieferantenleistungen in die Wertschöpfungskette des Abnehmers: (1) In Industrieparks werden Lieferanten unmittelbar um die Produktionsstätte des Abnehmers angesiedelt. Die räumliche Nähe und eine gemeinsame Infrastruktur vereinfachen insbesondere die logistischen Abwicklungen. (2) Beim Shop-in-the-shop-Konzept produzieren die Lieferanten mit eigenen Mitarbeitern und Betriebsmitteln innerhalb der Produktionsstätte des Abnehmers. (3) Die stärkste Form der Verschränkung der Wertschöpfungsaktivitäten liegt vor, wenn die Lieferanten direkt in die Entwicklungs-, Fertigungs- oder Montageprozesse des Abnehmers eingebunden sind. Beispiele sind die LKW-Produktion von VW in Resende in Brasilien¹³⁹ oder die Smart-Produktion in Hambach.

¹³⁴ Boutellier, Wagner (Partnerschaften) S. 42 ff. Dort findet sich ein Überblick über alternative Systematisierungen der Lieferantenbeziehung. Vgl. ferner die Übersicht bei Schary, Skjott-Larsen (Supply Chain) S. 183 ff.

¹³⁵ Vgl. Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 126 f. Vgl. auch Krokowski (Globalisierung) S. 6.

¹³⁶ Vgl. Arnold (Global Sourcing) S. 205 ff. und die dort angegebene Diskussion.

¹³⁷ Vgl. Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 127 f.

¹³⁸ Wildemann spricht von Insourcing. Vgl. Wildemann (Insourcing).

¹³⁹ Vgl. Hirschfelder (Systeme) S. 42 ff.

Zu klären wäre, inwieweit die Beschaffungsregion und der Wertschöpfungsort zwei voneinander unabhängige Dimensionen darstellen. Eine Zusammenfassung der quellenorientierten Gestaltungsdimensionen findet sich in Abbildung 22.

Quellenorientierte Gestaltungsdimensionen	
Lieferantenzahl	- Sole - Single - Dual - Parallel - Multiple
Lieferantenbeziehung	- Transaktionsorientierte Beziehung - Partnerschaftliche Beziehung
Beschaffungsregion	- Global - Domestic - Local
Wertschöpfungsort	- External - Internal

Abbildung 22: Quellenorientierte Gestaltungsdimensionen

(3) Nachfrageorientierte Gestaltungsdimensionen

Die zentrale Gestaltungsdimension auf der Nachfrageseite ist der Grad der Bündelung und der Kooperation mit anderen Bedarfsträgern. Dabei kann zwischen Bündelungsaktivitäten innerhalb größeren Unternehmen und der Einkaufskooperation, meist von Klein- und Mittelbetrieben, unterschieden werden. Wir betrachten hier drei Kategorien:

- Stand alone Sourcing: Ein Bedarfsträger, z.B. ein Werk, ein Geschäftsfeld oder ein Klein- bzw. Mittelbetrieb, beschafft die Leistungen eines Materialfeldes für sich allein. Vorteilhaft kann hierbei eine besondere Nähe zum Bedarfsträger und damit geringe Transaktionskosten sein. Immer dann wenn wenig Bündelungsvorteile zu erwarten sind, kann diese Vorgehensweise sinnvoll sein.
- Unternehmensbündelung: Die bedarfsträgerübergreifende Bündelung von Einkaufsaktivitäten innerhalb eines Unternehmens wird heute intensiv im Rahmen der Zentralisierung im Einkauf diskutiert. Aufgrund moderner Informations- und Kommunikationstechnologien gelingt es die Transaktionskosten der Bündelung stark zu reduzieren, so dass zukünftig auch in bisher eher weniger attraktiven Materialfeldern erhebliche Vorteile zu realisieren sind. Ein interessantes Beispiel zeigt die Firma Bayer, die für ihre Bündelungserfolge den BME-Innovationspreis 2002 erhalten hat.¹⁴⁰ Neben einer organisatorischen Zentralisierung des Einkaufs gibt es verschiedene andere Formen zur Realisierung von Bündelung. Intensiv wird in diesem Zusammenhang das Materialgruppenmanagement diskutiert.¹⁴¹ Hierzu werden materialfeldorientierte Projektteams zur Entwicklung und Umsetzung von bereichsübergreifenden Materialfeldstrategien gebildet.
- Einkaufskooperationen zwischen Unternehmen zielen auf die gemeinsame Erschließung von Beschaffungsmärkten, um insbesondere Bündelungsvorteile zu nutzen.¹⁴² Allerdings verbinden sich mit Einkaufskooperationen regelmäßig erhebliche Implementierungsprobleme und Transaktionskosten. Bisher kann man allerdings nicht feststellen, dass sich Einkaufskooperationen auf breiter Linie durchsetzen.

Die nachfrageorientierten Gestaltungsdimensionen erscheinen heute noch wenig ausdifferenziert. Hier ist wesentlicher Forschungsbedarf vorhanden. Eine Zusammenfassung findet sich in Abbildung 23.

¹⁴⁰ Vgl. Römer (Beschaffungsnetzwerk).

¹⁴¹ Vgl. Rüdlich, Kalbfuß, Weißer (Materialgruppenmanagement), Kleinaltenkamp (Materialgruppenmanagement) sowie Kalbfuß (Materialgruppenmanagement).

¹⁴² Eßig (Cooperative Sourcing).

Nachfrageorientierte Gestaltungsdimensionen	
Nachfragekooperation	- Stand alone - Unternehmensbündelung - Einkaufskooperation

Abbildung 23: Nachfrageorientierte Gestaltungsdimensionen

(4) Prozessorientierte Gestaltungsdimensionen

Innerhalb einer Materialfeldstrategie sind die Prozesse in der Zusammenarbeit mit dem Lieferanten zu gestalten und zu optimieren. Zur Systematisierung benötigen wir ein allgemeines Prozessmodell mit einem Katalog an Prozessvarianten, die den Ausprägungen entsprechen. Ein solches Modell liegt unseres Wissens noch nicht vor und würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Insofern skizzieren wir folgend nur einige Eckpunkte und illustrieren diese mit einigen Beispielen. Als Basis erscheint uns das Supply Chain Management-Modell des International Center for Competitive Excellence¹⁴³ gut geeignet, das folgende Schlüsselprozesse in der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit definiert:

- Customer relationship management
- Customer service management
- Demand management
- Order fulfillment
- Manufacturing flow management
- Procurement
- Product development and commercialization
- Returns channel
- Darüber hinaus werden noch Performance Metrics definiert.

Wir unterscheiden folgende Schlüsselprozesse (vgl. Abbildung 24):

- Bestellprozess (= Demand Management und Procurement): Der Bestellprozess bildet zusammen mit den beiden folgenden Prozessen, dem Versorgungsprozess und dem Zahlungsprozess, den Geschäftsprozess.¹⁴⁴ Handlungsoptionen zur Optimierung des Bestellprozesses finden sich beispielsweise im Bereich e-procurement, z.B. e-Katalogeinkauf, e-Ausschreibung, e-Marktplätze. Auch klassische Prozessgestaltungen sind als Alternativen der Bestellprozesse eines Materialfeldes zu berücksichtigen, z.B. Präqualifikationen, Dienstleisterkonzepte.
- Materialversorgungsprozess (=Order fulfillment, teils manufacturing flow management): Beim Materialversorgungsprozess stehen die logistischen Aspekte der Materialversorgung des Unternehmens (von der Bestellung bis zum Wareneingang) im Mittelpunkt der Betrachtung. Im Rahmen der Versorgungsprozesse spielen beispielsweise die Art und der Grad der Synchronisierung zwischen Abnehmer und Lieferant eine wichtige Rolle. Lagerbestände entkoppeln die Produktion des Lieferanten und die des Abnehmers, hingegen können die Fertigungen über Just-in-Sequence oder Kanban aufeinander abgestimmt werden. Die Verlagerung der logistischen Abwicklung oder von Teilen der Abwicklung auf Dienstleister stellt eine weitere Handlungsalternative dar.
- Zahlungsprozess (keine Entsprechung): Der Zahlungsprozess kann beispielsweise über eine verbrauchsorientierte vom Abnehmer gesteuerte Zahlung stark vereinfacht werden.
- Entwicklungsprozess (Product development and commercialization): Simultaneous Engineering stellt ein Beispiel einer Zusammenarbeitsform mit Lieferanten im Rahmen des Entwicklungsprozesses dar.
- Weitere Prozesse der Zusammenarbeit mit Lieferanten können der Vertriebsprozess (= Customer relationship management), der Service (= Customer service management) oder die Entsorgung (= Returns channel) sein.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass gerade die Verknüpfung zwischen den objektorientierten, den quellenorientierten und nachfrageorientierten mit den prozessorientierten Gestaltungsdimensionen besonders interes-

¹⁴³ Zitiert nach Lambert, Stock, Ellram (Logistics) S. 505.

¹⁴⁴ Vgl. Klaus (Logistik) S. 450 ff.

sant ist. Welche Voraussetzungen bezüglich Objektgestaltung oder Lieferantenbeziehung werden benötigt, um bestimmte prozessorientierte Handlungsalternativen sinnvoll realisieren zu können?

Ferner ist zu beachten, dass die Gestaltung materialfeldübergreifender Prozesse, z.B. Lieferantenmanagement, Formulierung und Implementierung von Beschaffungs- und Materialfeldstrategien, Prozessoptimierung und Methodenentwicklung, Gegenstand einer materialfeldübergreifenden Beschaffungsstrategie sind. Zu diesen Problemfeldern werden wir in Kapitel 7 zurückkommen.

Prozessorientierte Gestaltungsdimensionen	
Bestellprozess	Beispiele: - e-Katalog - e-Ausschreibung (inklusive Auktion) - e-Marktplatz - Preisstrategien
Materialversorgungsprozess	Beispiele: 1. Fertigung - Synchronisierung (JiT, JiS, Kanban, Vendor Managed Inventory) - Abwicklungsverlagerung (Konsignation, Dienstleister) - Qualitätssicherung ... 2. Montage (vgl. Fertigung) 3. Handelsware
Zahlungsprozess	Beispiel: - Zahlung nach Verbrauch
Entwicklungsprozess	Beispiel: - Simultaneous Engineering ...
Weitere Prozesse: - Vertriebsprozess - Serviceprozess - Entsorgungsprozess	

Abbildung 24: Prozessorientierte Gestaltungsdimensionen

(5) Umfeldorientierte Gestaltungsdimensionen

Über die besprochenen Gestaltungsdimensionen hinaus kann das Unternehmen versuchen, auf die Rahmenbedingungen des Beschaffungsmarktes einzuwirken. Als Systematik ist unser Vorschlag zur Strukturierung der allgemeinen Umwelt geeignet.¹⁴⁵

Die Forschungsleitfragen zielen einerseits auf die Validierung unserer Systematik der Gestaltungsdimensionen und ihrer Ausprägungen und andererseits auf spezifische Fragestellungen innerhalb einzelner Gestaltungsdimensionen. Hierbei ist ein umfangreicher Forschungsbedarf in Bezug auf die Aggregation unterschiedlicher Konzepte von der Material- auf die Materialfeldebene bzw. in Bezug auf eine Konkretisierung von einer globalen Betrachtung auf die Materialfeldebene zu erkennen.

¹⁴⁵ Vgl. Kapitel 5.

Frage 12:

Wie können die Gestaltungsdimensionen und die dazugehörigen Ausprägungen auf Materialfeldebene systematisiert werden?

Ausgewählte Einzelfragen zu den einzelnen Gestaltungsdimensionen:

Frage 13:

Wie kann die materialfeldspezifische Fertigungstiefe dimensioniert und systematisiert werden?

Frage 14:

Wie kann materialfeldspezifisch die optimale Lieferantenzahl festgelegt werden?

Frage 15:

Wie kann die Lieferantenbeziehung als Gestaltungsdimension einer Materialfeldstrategie systematisiert und optimiert werden?

Frage 16:

Wie können die Zusammenarbeitsprozesse mit Lieferanten strukturiert und die verschiedenen Prozessvarianten systematisiert werden?

7. Integrierte Materialfeldstrategie und Beschaffungsstrategie

7.1 Ableitung von Materialfeldstrategien

Nach der isolierten Analyse der einzelnen Gestaltungsdimensionen im Materialfeld ist nun die Frage nach den Interdependenzen zwischen den Handlungsoptionen und der Verknüpfung zu einer konsistenten Materialfeldstrategie zu diskutieren. Beispielsweise ist die Entscheidung für eine partnerschaftliche Zulieferbeziehung nicht unabhängig von der Anzahl der Zulieferer oder auch von der Beschaffungsregion. Aus der Optimierung der Materialversorgungsprozesse oder der Bestellprozesse resultieren sowohl objekt- wie auch quellenorientierte Anforderungen. In der Literatur können mindestens drei (insgesamt unbefriedigende) Argumentationslinien zur Ableitung von integrierten Materialfeldstrategien unterschieden werden:

(1) Empirisch-normative Handlungsempfehlungen

In der praxisorientierten Literatur zur Beschaffungsstrategie finden sich vielfach mehr oder minder isolierte Handlungsempfehlungen, von denen nicht ganz klar ist, ob sie logisch deduziert oder empirisch gewonnen sind. Ein Beispiel von Krampf verdeutlicht diese Methodik: "Eine Beschaffung aus dem Ausland führt tendenziell zum Multiple Sourcing, um hauptsächlich die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere bei Neuteilen mit einer großen Stückzahl ist die Risikoabsicherung sinnvoll, es sei denn, es handelt sich um einen sehr leistungsfähigen, bereits bekannten Zulieferer. Aber das Single Sourcing wird zunehmend nicht mehr vor den Landesgrenzen halt machen, ..." ¹⁴⁶

Eine umfassende und systematische Vorgehensweise findet sich hierbei eher selten. Koppelmann versucht mit einer Matrix die Verknüpfung zwischen seinen Beschaffungsstrategien und den Beschaffungszielen herzustellen (vgl. Abbildung 25). ¹⁴⁷ Hierbei wirkt die Liste der Beschaffungsstrategien sehr additiv. Ferner ist weder die Basis der Verknüpfung erklärt noch in allen Aspekten prima facie nachvollziehbar. Warum kann Dual oder Multiple Sourcing nicht den Wettbewerb zwischen Lieferanten steigern und damit auch die Kosten senken? Warum kann eine Entwicklungskooperation unter bestimmten Umständen nicht die Flexibilität insofern steigern, dass schneller auf die Anforderungen des Marktes reagiert werden kann?

¹⁴⁶ Krampf (Beschaffungsmanagement) S. 204.

¹⁴⁷ Koppelmann (Beschaffungsmarketing) S. 135 und zu den Beschaffungsstrategien S. 124.

Beschaffungsziele Beschaffungsstrategien	Kosten- senkung	Leistungs- steigerung	Risiko- senkung	Flexibilitäts- steigerung
Entwicklungskooperation	X	X	X	
Modular Sourcing	X	X		
Objektnormierung	X		X	X
Baukastensystem	X		X	X
Plattform	X		X	X
Komponentensourcing	X	X	X	X
Nullfehlerkonzeption	X	X	X	
Local Sourcing			X	
International Sourcing	X	X	X	X
Global Sourcing	X	X	X	X
Märktemischung			X	X
Märktekonzentration	X			
Single Sourcing	X	X		
Dual Sourcing			X	X
Multiple Sourcing			X	X

Abbildung 25: Funktionsbereichsziele und Beschaffungsstrategien
Quelle: Koppelman (Beschaffungsmarketing) S. 135 (Auszug)

(2) Formale Kombinatorik

Insbesondere in den oben diskutierten Sourcing-Ansätzen werden die einzelnen Gestaltungsdimensionen kombinatorisch miteinander verknüpft. Erinnerung sei beispielsweise an den oben vorgestellten Sourcing-Würfel von Corsten oder die Sourcing-Toolbox von Arnold.¹⁴⁸ Alle Elemente dieser Kombinatorik gemeinsam bilden nach Koppelman die "Beschaffungskonzeption", d.h. einen umfassenden Entwurf des strategischen Handlungsrahmens.¹⁴⁹ Damit erfolgt eine (sehr) formale Systematisierung der Handlungsstrategien. Jedes Würfelement (n-Tupel) verkörpert so eine integrierte Strategie, d.h. eine Kombination der Ausprägung der Gestaltungsdimensionen. Die einzelnen Würfelemente können inhaltlich beschrieben, auf ihre empirische Relevanz hinterfragt und mit Handlungsempfehlungen analog zu der unter (1) dargestellten Methodik angereichert werden. Ein kleines Argumentationsbeispiel von Arnold mag diese Vorgehensweise verdeutlichen: "Global Just-in-Time Sourcing scheint auf den ersten Blick nur schwer realisierbar; die Kombination von bestandsloser Lieferung und Auslandsbezug wird mit zunehmender geographischer Entfernung risikoreicher. Mit dem Aufbau grenzüberschreitender Infrastrukturen, wie Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsnetze oder Informations- und Kommunikationstechnologien, wird die internationale Logistik jedoch weiter erleichtert."¹⁵⁰

Mit steigender Zahl der Gestaltungsdimensionen und der Ausprägungen je Dimension wird eine kombinatorische Vorgehensweise allerdings unübersichtlich. So führt Arnold in der zitierten Systematik nur einen Ausschnitt seines Konzeptes in Bezug auf Global Sourcing-Strategien aus. Für eine Strategieformulierung mit einer Vielzahl an Gestaltungsdimensionen empfehlen Arnold / Eßig - wie oben bereits ausgeführt - die Vorgehensweise analog zu einem morphologischen Kasten.¹⁵¹

¹⁴⁸ Vgl. Abbildungen 17 und 18.

¹⁴⁹ Arnold (Global Sourcing) S. 211.

¹⁵⁰ Arnold (Global Sourcing) S. 211.

¹⁵¹ Arnold, Eßig (Sourcing-Konzepte) S. 128; vgl. auch Kapitel 6.1.

(3) Normstrategien auf Basis von Portfolioansätzen

In den Portfolioansätzen wird die Komplexität der Beschaffungssituation stark verdichtet, indem die relevanten Aspekte zu meist zwei Dimensionen zusammengefasst werden.¹⁵² Hierbei sollte nach klassischer Portfoliomethodik in einer Dimension die Beschaffungsmarktsituation und in der anderen die Position des Unternehmens im Markt zum Ausdruck kommen. Kombiniert man die zwei bis vier Ausprägungen je Dimension, so ergeben sich üblicherweise vier bis sechzehn Felder. Jedes Feld kennzeichnet jeweils eine typische strategische Situation. Ziel der Portfolioansätze ist es nun, für die einzelnen Situationen generelle Handlungsempfehlungen, so genannte Normstrategien, zu entwickeln.

Zur Beschreibung der Handlungssituation konzentrieren sich die meisten Portfolios im Einkauf auf die Beschaffungsobjekte, auf die Lieferanten oder auf eine Kombination der beiden. Wir werden im Folgenden zwei prominente Portfolio-Beispiele skizzieren und anschließend die Portfoliomethodik im Rahmen der Formulierung von Materialfeldstrategien diskutieren.

(3.1) Einkaufs-Portfolio nach Kraljic¹⁵³

Die Struktur des klassischen Einkaufs-Portfolio mit der marktorientierten Dimension der "Versorgungskomplexität" und der unternehmensorientierten Position "Ergebniseinfluss" des Materials haben wir bereits oben als Methode zur Priorisierung von Materialfeldern vorgestellt.¹⁵⁴ Für die einzelnen Felder werden Normstrategien vorgeschlagen (vgl. Abbildung 26). Homburg leitet beispielsweise für die einzelnen Felder Empfehlungen zur Lieferantenzahl ab (in Abbildung 26 umrandet).¹⁵⁵ Die niedrigste Lieferantenzahl bzw. sogar Single Sourcing rät er (ohne nähere Begründung) für Engpassartikel. Hebelartikel hingegen sollten die höchste Lieferantenzahl aufweisen. Die beiden anderen Felder werden als Mittelfall mit mittlerer Lieferantenzahl gesehen. Ferner sichert Homburg seine Empfehlungen mit einer empirischen Untersuchung ab. Kraljic stellt für die einzelnen Felder eine differenziertere Strategie vor, die sich mit den vier Stoßrichtungen "Kooperation", "Abschöpfung", "Substitution" und "Effizienz"¹⁵⁶ umschreiben lässt. Die detaillierten Handlungsempfehlungen finden sich in Abbildung 27.

¹⁵² Vgl. beispielsweise Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 315 ff., Shary, Skjott-Larsen (Supply Chain) S. 193 ff. sowie Fröhling, Nonnenmacher (Portfolio).

¹⁵³ Kraljic (Versorgungsmanagement).

¹⁵⁴ Vgl. Kapitel 4.3.

¹⁵⁵ Homburg (Lieferantenzahl) S. 194 ff.

¹⁵⁶ Vgl. Boutellier, Locker (Beschaffungslogistik) S. 11.

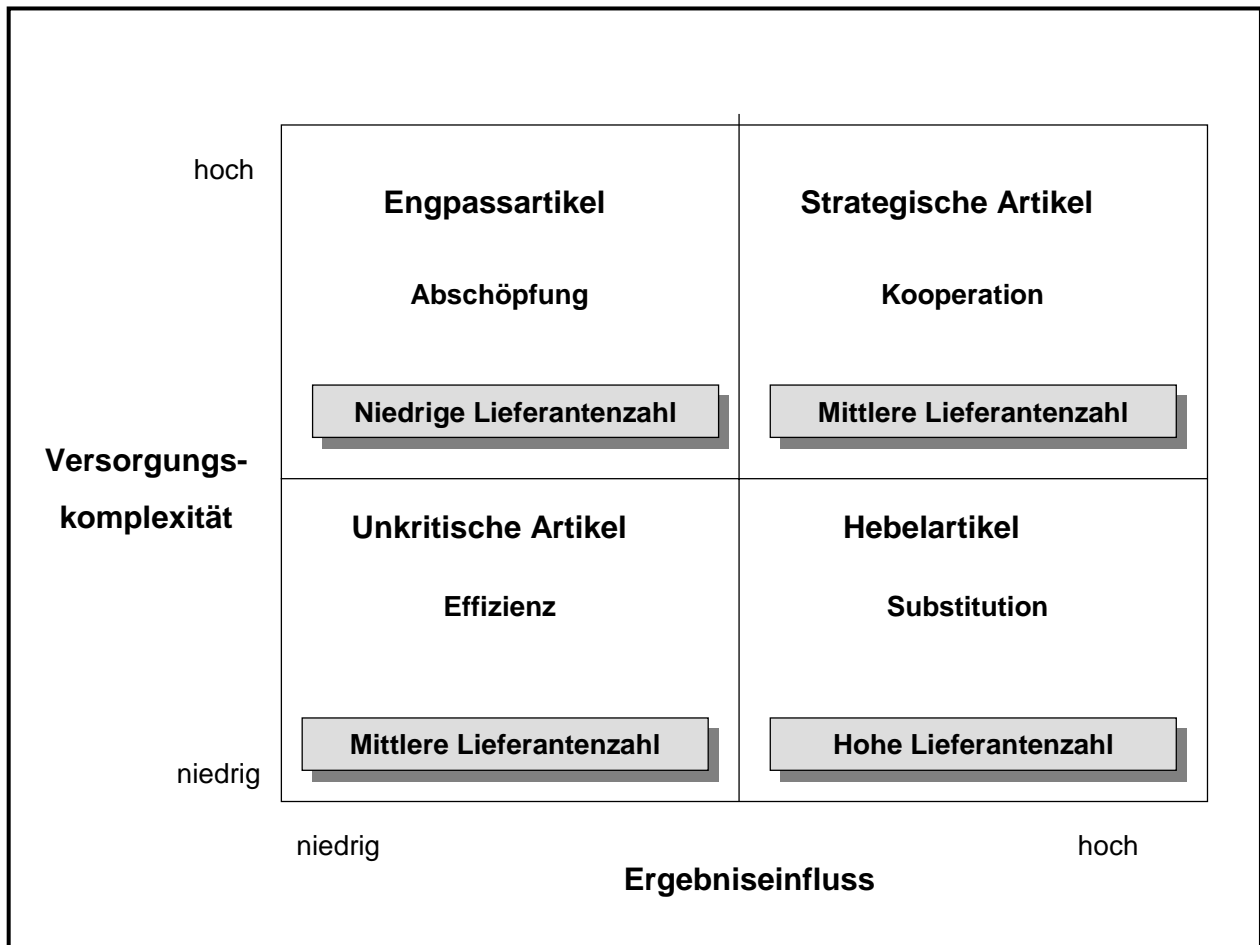


Abbildung 26: Einkaufs-Portfolio nach Kraljic (modifiziert)
 Quelle: Kraljic (Versorgungsmanagement) S. 8.

Beschaffungsschwerpunkt:	Hauptaufgaben:
Strategischer Artikel	Präzise Bedarfsprognose, genaue Marktforschung, Schaffung langfristiger Beziehungen zu Lieferanten, Entscheidungen über Eigenfertigung oder Zukauf, Staffilverträge, Risikoanalyse, Notfallplanung, Logistik-, Bestands- und Lieferantenkontrolle
Engpassartikel	Mengensicherung (wenn notwendig gegen Aufpreis), Lieferantenkontrolle, Bestandssicherheit, Ausweichpläne
Hebelartikel	Ausnutzung der vollen Einkaufsmacht, Lieferantenauswahl, Produktsubstitution, gezielte Preis- und Verhandlungsstrategien, Mischung aus Vertragseinkäufen und Einkäufen auf den Spottmärkten, Auftragsmengenoptimierung
Unkritischer Artikel	Produktstandardisierung, Überwachung und Optimierung der Auftragsmengen, effiziente Bearbeitung, Bestandsoptimierung

Abbildung 27: Hauptaufgaben im Einkaufs-Portfolio nach Kraljic (modifiziert)
 Quelle: Kraljic (Versorgungsmanagement) S. 9.

(3.2) Beschaffungsgüter- und Beschaffungsquellenportfolio nach Wildemann¹⁵⁷

Wildemann verknüpft in seinem Beschaffungsgüter- und Beschaffungsquellenportfolio zwei Portfolios (Vgl. Abbildung 28). Das Beschaffungsgüterportfolio entspricht abgesehen von den Operationalisierungskriterien dem oben beschriebenen Einkaufsportfolio nach Kraljic. Analog wird ein Beschaffungsquellenportfolio mit den zwei Dimensionen (1) "lieferantenspezifische Versorgungsrisiken" in Form der Angebotsmacht sowie (2) "Entwicklungspotenzial" des jeweiligen Lieferanten gebildet. In unserem Sinne arbeitet Wildemann auf Ebene von Materialfeldern.

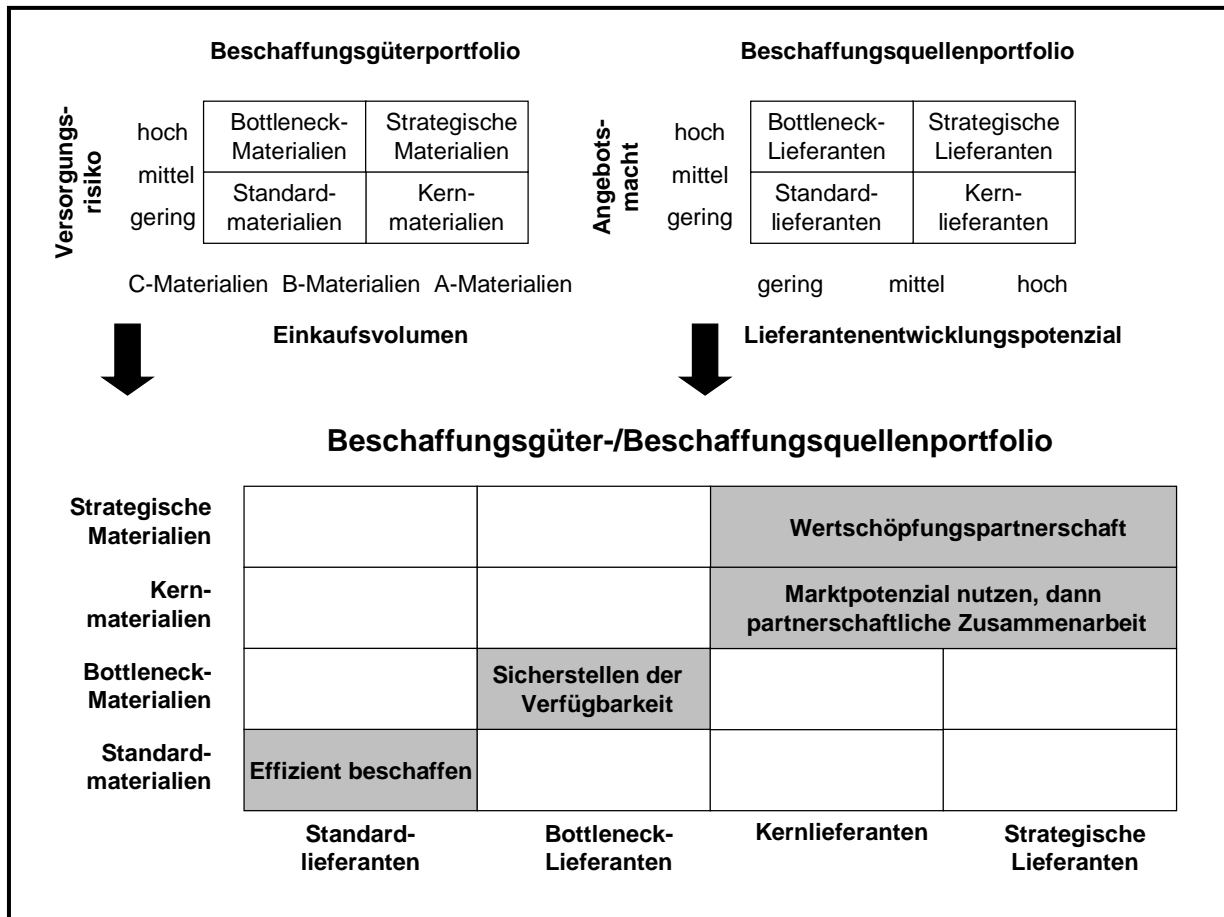


Abbildung 28: Beschaffungsgüter- Beschaffungsquellenportfolio nach Wildemann
Quelle: Wildemann (Konzept) S. 550.

Das Lieferantenentwicklungspotenzial operationalisiert Wildemann beispielsweise mit den Kriterien:¹⁵⁸

1. Qualitätsfähigkeit
2. Fertigungstechnologie
3. Liefertreue
4. Lieferflexibilität
5. Innovationspotenzial
6. Potenzial als Systemlieferant

¹⁵⁷ Wildemann (Einkaufspotenzialanalysen) S.58 ff., Wildemann (Konzept) sowie zu einer praktischen Anwendung Schneid, Seeger (Lieferantoptimierung).

¹⁵⁸ Wildemann (Einkaufspotenzialanalysen) S. 61.

Das lieferantenspezifische Versorgungsrisiko wird mit folgenden Kriterien beurteilt:¹⁵⁹

1. Wertschöpfungssituation (Monopol / Polypol)
2. Ist der Lieferant Produktionsspezialist?
3. Abhängigkeit des eigenen Hauses aufgrund von Werkzeugen
4. Standortvorteile
5. Marktpreistendenzen
6. Eigene künftige Nachfrageentwicklung

Nimmt man jedes der beiden 4-Felder-Portfolios als eine Achse eines neuen Portfolios, ergibt sich ein 16-Felder-Portfolio. In diesem Portfolio können die Lieferanten der betrachteten Materialgruppe(n) positioniert werden. Mit der Größe des Kreises kann zusätzlich das Einkaufsvolumen beim Lieferanten veranschaulicht werden. Dabei können für einzelne Materialgruppen eigene Portfolios erstellt werden. Alternativ können die betrachteten Materialfelder durch unterschiedliche Schraffierung der Kreise kenntlich gemacht werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit schlägt Wildemann vor, nicht mehr als 20 Materialfelder zu bilden und zu analysieren.

Normstrategien ergeben sich im Portfolio in zwei Richtungen. Zum einen soll eine Veränderung der Lage der Lieferanten im Portfolio angestrebt werden, soweit der Lieferant nicht auf der grau markierten Diagonale liegt. Lieferanten von strategischen Materialien bzw. von Kernmaterialien sollten ggf. zu Kernlieferanten oder strategische Lieferanten entwickelt werden.¹⁶⁰ Standardmaterialien sollten von Standardlieferanten geliefert werden, so dass ggf. eine Verschiebung des Lieferanten im Portfolio nach links notwendig werden kann. Bei Engpassmaterialien, eine an sich nicht erstrebenswerte Position, sollte das Versorgungsrisiko reduziert werden, so dass die Materialien zu Standardmaterialien werden. Alternativ kann über Nachfragebündelung das Material zum strategischen Material entwickelt und entsprechende Konsequenzen der Lieferantenentwicklung ergriffen werden.

Die zweite Richtung der Normstrategie zielt auf die Strategieempfehlungen innerhalb der einzelnen Diagonalfelder, beispielsweise "Wertschöpfungspartnerschaften" für Kernlieferanten und strategische Lieferanten von strategischen Materialien. Für diese Normstrategien stellt Wildemann umfangreiche Handlungsempfehlungen nach folgenden Gestaltungsfeldern¹⁶¹ gegliedert zur Verfügung:

1. Informationssystem
2. Materialflussgestaltung
3. Sourcing
4. Lieferantenauswahl
5. Lieferantenkontrolle
6. Vertragsgestaltung
7. Qualitätssicherung
8. F&E
9. Organisation
10. Elektronische Märkte

Am Beispiel Sourcing verdeutlichen wir die Form der Verknüpfung zwischen den verschiedenen Normstrategien und den sourcing-orientierten Handlungsempfehlungen.¹⁶²

- Effizient beschaffen: Bündelung von verschiedenen Produkten und Durchführung der Beschaffung durch Dienstleister, Prüfung der Konditionen in größeren Zeitabständen (einmal jährlich)
- Sicherstellung der Verfügbarkeit: Breite potenzielle Lieferantenbasis, Beschaffungsalternativen prüfen, Produktsubstitution anstreben

¹⁵⁹ Wildemann (Einkaufspotenzialanalysen) S. 61.

¹⁶⁰ Angemerkt sei, dass die Position des Kernlieferanten mit geringer Angebotsmacht der Position eines strategischen Lieferanten mit einer hohen Lieferantenmacht vorzuziehen ist.

¹⁶¹ Die Gestaltungsfelder entsprechen unseren Gestaltungsdimensionen, sind allerdings völlig additiv strukturiert. Vgl. beispielsweise Wildemann (Konzept) S. 555.

¹⁶² Wildemann (Konzept) S. 555.

- Marktpotenzial nutzen, dann partnerschaftliche Zusammenarbeit: Dual Sourcing, Auslandseinkauf / Global Sourcing, Einkauf definierter Quoten
- Wertschöpfungspartnerschaft: Single Sourcing, Aufbau gegenseitiger Abhängigkeiten

Interessant an der Vorgehensweise von Wildemann ist die Verknüpfung von Materialfeldsituation, Normstrategie und Diskussion von Gestaltungsfeldern. Auf Basis der Versorgungslage bei den Materialien werden Normstrategien für die Entwicklung der Lieferantenbeziehung vorgeschlagen. Darauf aufbauend werden dann stark beschaffungsgutorientierte Normstrategien entwickelt und Handlungsempfehlungen für die einzelnen Gestaltungsfelder durchdekliniert. Dabei bilden die Normstrategien die Klammer abgestimmter Festlegungen innerhalb der einzelnen Gestaltungsdimensionen. Unbefriedigend bleibt allerdings die rein additive Struktur der Gestaltungsfelder. Dies wird deutlich, wenn man die einzelnen Themen an unserem Bezugsrahmen in Kapitel 6 spiegelt.

Insgesamt bleibt an den Portfolioansätzen die starke Verdichtung der Handlungssituation problematisch.¹⁶³ Auch wenn mit Hilfe eines Scoringmodells die Situation differenziert erfasst werden sollte, erfolgt bereits vor der Strategieformulierung eine Aggregation, die wichtige Informationen vernichtet. In der Konsequenz kann damit keine für die Praxis hinreichend differenzierte Handlungsempfehlung abgeleitet werden. Eine hohe Versorgungskomplexität in einer Portfoliobetrachtung kann beispielsweise durch Schwierigkeiten in der Transportkette, aber auch aufgrund von Materialeigenschaften verursacht werden. Die Konsequenzen in der Materialfeldstrategie sind allerdings unterschiedlich.

Zwar legen die Normstrategien die grundlegende Richtung fest, sind aber unserer Einschätzung nach für die Beschaffungspraxis nicht hinreichend differenziert. Dies wird insbesondere am Übergang zwischen Normstrategie und Gestaltungsfeldern deutlich, da hier die normative Kraft der Norm nicht weit trägt. Der Schluss von einer Normstrategie auf die Empfehlungen bezüglich der Gestaltungsdimensionen bleibt häufig schwer begründbar.

Insgesamt ist festzustellen, dass der Forschungsstand zur Ableitung von integrierten Materialfeldstrategien noch völlig unbefriedigend ist. Ziel muss es sein, für die Unternehmenspraxis eine Methodik zu entwickeln, mit der in differenzierter Weise aus der Beschaffungssituation heraus Rahmenstrategien abgeleitet werden können (vgl. Forschungsleitfragen 17 bis 19).

Frage 17:

Mit welcher Methodik können integrierte Materialfeldstrategien entwickelt werden, die für die Beschaffungspraxis hinreichend differenziert sind?

Frage 18:

Mit welcher Methodik können integrierte Materialfeldstrategien "light" entwickelt werden, die mit reduziertem Aufwand für C-Materialgruppen (grobe) Handlungsorientierung geben?

Frage 19:

Wie können Rahmenstrategien auf Materialfeldebene systematisiert werden?
(Typologie von Materialfeldstrategien)

¹⁶³ Arnolds, Heege, Tussing (Materialwirtschaft) S. 322.

7.2 Ableitung von materialfeldübergreifenden Beschaffungsstrategien

Bisher haben wir die Strategien für einzelne Materialfelder voneinander unabhängig betrachtet. Aufgrund der großen Heterogenität in den Beschaffungsmärkten hatten wir dafür argumentiert, von den einzelnen Materialfeldstrategien als den Nukleus der Beschaffungsstrategie auszugehen. Im abschließenden Abschnitt wenden wir uns der Interdependenz der Materialfeldstrategien zu.

Betrachtet man die einzelnen Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie (vgl. Kapitel 6), so wird die wechselseitige Abhängigkeit von anderen Materialfeldern schnell deutlich. Dies soll an einigen Beispielen illustriert werden:

- Objektorientierte Gestaltungsdimensionen: Beispielsweise wird ein Modularisierungskonzept oder ein Plattformkonzept sinnvollerweise nur in Abstimmung mit anderen Materialfeldern erfolgen können.
- Quellenorientierte Gestaltungsdimensionen: Entscheidungen über die Beschaffungsregionen stehen häufig auch im Rahmen eines materialfeldübergreifenden Kontextes, z.B. aus welchen Regionen überhaupt beschafft werden soll oder Lokalisierungsstrategien.
- Nachfrageorientierte Gestaltungsdimensionen: Eine Nachfragekooperation rentiert sich aufgrund der vorhandenen Fixkosten meist nur, wenn mehrere Materialfelder in die Kooperation einbezogen werden.
- Prozessorientierte Gestaltungsdimensionen: Bei der Gestaltung der Prozesse werden üblicherweise verschiedene Prozessvarianten definiert, aus denen dann für das Materialfeld die geeignetste ausgewählt und bestenfalls leicht adjustiert werden kann.

Jedoch darf der Vorsteuerungscharakter einer Beschaffungsstrategie relativ zu den Materialfeldstrategien nicht radikalisiert werden. Vielmehr verdankt sich die Möglichkeit und die Vorteilhaftigkeit einer übergreifenden Beschaffungsstrategie ihrer Konkretisierung in den einzelnen Materialfeldern. In diesem Sinne kann eine Beschaffungsstrategie nicht als hierarchisch vorgelagerte Vorgabe der Materialfelder verstanden werden, sondern eher als die zielorientierte Koordination, mit der die Materialfelder aufeinander ausgerichtet werden.

Aus dieser Überlegung heraus formulieren wir sechs Thesen zur Ableitung von Beschaffungsstrategien, die gleichzeitig auch die Basis für unsere Forschungsleitfragen bilden.

(1) Die aus den Unternehmenszielen abgeleiteten Beschaffungsziele bilden gleichermaßen den Rahmen für die Beschaffungsstrategie wie für die einzelnen Materialfeldstrategien. Insbesondere kann aus den Beschaffungszielen auch der jeweilige Zielbeitrag der einzelnen Materialfelder abgeleitet werden.

(2) Die grundsätzliche Ausrichtung der Beschaffungsstrategie leitet sich aus der Kernkompetenzstrategie, aus der Unternehmensstrategie (In welchen Märkten wollen wir tätig sein? Welche Synergien können zwischen Geschäftsfeldern genutzt werden?) und der Wettbewerbsstrategie (Welche dauerhaften Wettbewerbsvorteile sollen entwickelt werden? Differenzierung oder Kostenführerschaft) ab. Sie bilden den Rahmen für die weitere Konkretisierung der Strategien.

(3) Beschaffungsstrategie und Materialfeldstrategien sind stark interdependent und müssen im Gegenstromverfahren abgeleitet werden. Der Möglichkeitsraum einer Beschaffungsstrategie ergibt sich nämlich erst aus den Handlungsspielräumen (Chancen und Risiken) in den einzelnen Materialfeldern. Andererseits erfolgt durch die Beschaffungsstrategie die Koordination der einzelnen Materialfeldstrategien.

(4) Zur Strukturierung der Gestaltungsdimensionen auf Ebene der Beschaffungsstrategie kann die von uns in Kapitel 6 entwickelte Systematik gleichermaßen verwendet werden. Beispielsweise werden in der Beschaffungsstrategie Vorstellungen zur Gestaltung der Beschaffungsobjekte entwickelt, z.B. Verringerung der Wertschöpfungstiefe oder eine Intensivierung der Integration von gewissen Designstrategien. Die Vorgaben der Beschaffungsstrategie dienen den Materialfeldern als Orientierungsrahmen. Allerdings kann es in einzelnen Materialfeldern geboten sein, von der allgemeinen Beschaffungsstrategie abzuweichen. Beispielsweise kann trotz der generellen Strategie "Reduzierung der Lieferantenzahl" in einzelnen Materialfeldern eine Erhöhung der Lieferantenzahl angeraten sein. Sollte die Zahl der Ausnahmen zu hoch werden, wird natürlich die Beschaffungsstrategie in Frage gestellt.

(5) Eine Führungsposition wird die Beschaffungsstrategie bei der Einflussnahme auf die allgemeine Aufgabenumwelt (vgl. Abbildung 14) einnehmen. Wie bereits erwähnt, ist bei den einzelnen Materialfeldstrategien von gemeinsamen Annahmen zur allgemeinen Umwelt auszugehen. Ferner darf die Einflussnahme auf die Umwelt nicht in sich widersprüchlich sein und muss deshalb auf Unternehmensebene festgelegt werden.

(6) Ebenso werden die Beschaffungsprozesse weitgehend materialfeldunabhängig entwickelt. Im Materialfeld erfolgen meist nur die Auswahl der geeigneten Prozessvarianten sowie die Anpassung innerhalb gegebener Spielräume. Insbesondere beim Lieferantenmanagement und im Rahmen der Formulierung der Materialfeldstrategie ist die Einflussnahme auf Materialfeldebene eher gering. Allerdings werden aus den Materialfeldern Impulse für neue Prozesse kommen, z.B. elektronische Auktionen. Auch die Pilotierung neuer Prozesse wird regelmäßig materialfeldspezifisch durchgeführt.

Frage 20:

Wie können Beschaffungsstrategien formuliert werden? Wie werden Materialfeldstrategien zu einer Beschaffungsstrategie verdichtet bzw. verknüpft?
(Empirische und theoretische Betrachtung)

Frage 21:

Gibt es generische Beschaffungsstrategien, die mehr sind als die Aggregation von Materialfeldstrategien?
(Empirische und theoretische Betrachtung)

Frage 22:

Wie können Beschaffungsstrategien systematisiert werden?
(Typologie von Beschaffungsstrategien)

Frage 23:

Ist unsere Systematik der Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie auch auf Ebene von Beschaffungsstrategien zielführend?

8. Zusammenfassung und Ausblick

Der Forschungsstand im Feld der Beschaffungs- und Materialfeldstrategie steht in starker Diskrepanz zur zunehmenden Bedeutung der Gestaltung der Supply Chain und der Lieferantenbeziehungen für den wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmen. Unser grundlegendes Anliegen ist es, im Rahmen eines umfassenden Forschungsprojektes die Methodik zur Formulierung und zur Implementierung von Beschaffungsstrategien voranzutreiben. Im vorliegenden Arbeitspapier wurde ein Rahmenkonzept zur systematischen Vorgehensweise bereitgestellt.

Unser Prozessmodell zur Beschaffungs- und Materialfeldstrategie koppelt sich am Prozessansatz im strategischen Management an. Ausgangspunkt der Analyse sind die Ziele der Beschaffung, die wir shareholder-value basiert und prozessorientiert modelliert haben. Gemäß unserer These, dass aufgrund der Heterogenität der Materialfelder der Nukleus einer Beschaffungsstrategie sich in den Materialfeldern befindet, richten wir unser Augenmerk auf die Materialfeldstrategien. Dazu wurden zunächst Methodiken zur Definition und Priorisierung von Materialfeldern entwickelt. Für die einzelnen Materialfelder wird dann eine Methodik zur Materialfeldanalyse vorgeschlagen. Mit unserer Systematik zu den Gestaltungsdimensionen einer Materialfeldstrategie haben wir die Basis für eine methodische Strategieformulierung gelegt. Im Bezug auf die Integration einzelner Handlungsfelder in eine Materialfeldstrategie haben wir verschiedene Methodiken diskutiert und einen erheblichen Forschungsbedarf konstatiert. Das Verhältnis zwischen den einzelnen Materialfeldstrategien und einer umfassenden Beschaffungsstrategie wurde thesenhaft thematisiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die ersten Konturen eines umfassenden Ansatzes zur Formulierung und Implementierung von Materialfeldstrategien herausmodelliert. Dabei haben wir in den 23 Forschungsleitfragen den uns besonders dringend erscheinenden Forschungsbedarf identifiziert. In den nächsten Schritten soll auf Basis explorativer Studien der vorgestellte Rahmen auf seine theoretische Haltbarkeit und seine praktische Nützlichkeit hin validiert und in wesentlichen Aspekten erheblich verfeinert werden. Trotz der umfangreichen

offenen Fragestellungen hoffen wir, dass die vorliegende Arbeit der Unternehmenspraxis einige hilfreiche Anregungen für die Entwicklung von Beschaffungsstrategien geben konnte.

Literaturverzeichnis:

- Arnold, U.:** (Sourcing-Konzepte) Sourcing-Konzepte, in: Kern, W.; Schröder, H.H.; Weber, J. (Hrsg.) (Handwörterbuch) S. 1861 – 1874.
- Arnold, U.; Eßig, M.:** (Sourcing-Konzepte) Sourcing-Konzepte als Grundelemente der Beschaffungsstrategie, in: WiSt 2000 (3), S. 122 – 128.
- Arnold, U.:** (Global Sourcing) Global Sourcing: Strategische Neuorientierung des Einkaufs, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 201 - 220.
- Arnolds, H.; Heege, F.; Tussing, W.:** (Materialwirtschaft) Materialwirtschaft und Einkauf, 10. Aufl., Wiesbaden 1998.
- Baily, P. u. a.:** (Purchasing) Purchasing principles and Management, 7. Aufl., London 1994.
- Belz, C.; Mühlmeier, J. (Hrsg.):** (Supplier) Key Supplier Management, St. Gallen/Kriftel-Neuwied 2001.
- Bichler, K.; Krohn, R.:** (Beschaffungs- und Lagerwirtschaft) Beschaffungs- und Lagerwirtschaft, 8. Aufl., Wiesbaden 2001.
- Bloech, J.:** (Beschaffungsstrategien), in: Theuer, G.; Schiebel, W.; Schäfer, R. (Hrsg.): (Beschaffung) S. 115 - 130.
- Boutellier, R.; Locker, A.:** (Beschaffungslogistik) Beschaffungslogistik: Mit praxiserprobten Konzepten zum Erfolg, München Wien 1998.
- Boutellier, R.; Wagner, S.:** (Partnerschaften) Strategische Partnerschaften mit Lieferanten, in: Belz, C.; Mühlmeier, J. (Hrsg.) (Supplier) S. 38 - 60.
- Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.):** (Handbuch) Handbuch Beschaffung: Strategien - Methoden - Umsetzung, München Wien 2003.
- Boutellier, R.; Zagler, M.:** (Materialgruppenmanagement) Materialgruppenmanagement und Einkaufskooperationen, München Wien 2000.
- Chandler, A.:** (Strategy) Strategy and Structure, Cambridge 1962.
- Corsten, H.:** (Beschaffungsmanagement) Beschaffungsmanagement, in: Corsten, H.; Reiß, M. (Hrsg.) (Handbuch) S. 573 – 586.
- Corsten, H.; Reiß, M. (Hrsg.):** (Handbuch) Handbuch der Unternehmensführung: Konzepte - Instrumente - Schnittstellen, Wiesbaden 1995.
- Cox, A.:** (Beschaffungswesen) Beschaffungswesen und Unternehmensstrategie: Strategische und betriebswirtschaftliche Bedeutung der Beschaffung für den wirtschaftlichen Erfolg, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 81 – 97.
- Delfmann, W.:** (Standardisierungsstrategien) Standardisierungsstrategien, in: Klaus, P.; Krieger, W. (Hrsg.) (Logistik) S. 431 - 433.
- Ellram, L.:** (Partnering) Partnering pitfalls and success factors, in: International Journal of Purchasing and Materials Management, 1995 (2) S. 36 - 44.
- Ellram L.:** (Total Cost) Total Cost of Ownership, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 659 - 671.
- Ellram L.; Edis, O.:** (Case Study) A Case Study of Successful Partnering Implementation, in: International Journal of Purchasing and Materials Management 1996, S. 20 - 28.
- Engelhardt, C.:** (Balanced Scorecard) Balanced Scorecard in der Beschaffung: Erfolg durch Kennzahlen, München Wien 2001.
- Engelhardt, C.:** (Praxis) Balanced Scorecard in der Praxis, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 411 - 429.
- Eßig, M.:** Cooperative Sourcing: Erklärung und Gestaltung horizontaler Beschaffungsk Kooperationen in der Industrie, Frankfurt a.M. u.a. 1999.
- Fröhling, O.; Nonnenmacher, G.:** (Portfolio) Purchasing Portfolio Analysis in the Future Market Environment, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 593 - 612.
- Gälweiler A.:** (Unternehmensplanung) Unternehmensplanung, Frankfurt 1986.
- Grochla, E.; Schönbohm, P.:** (Beschaffung) Beschaffung in der Unternehmung: Einführung in eine umfassende Beschaffungslehre, Stuttgart 1980.
- Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.):** (Handbuch) Handbuch industrielles Beschaffungsmanagement: Internationale Konzepte – innovative Instrumente – aktuelle Praxisbeispiele, 2. Aufl., Wiesbaden 2002.
- Hamel, G.; Prahalad, C. K.:** (Wettlauf) Wettlauf um die Zukunft: Wie Sie mit bahnbrechenden Strategien die Kontrolle über Ihre Branche gewinnen und die Märkte von morgen schaffen, Wien 1997.
- Heinritz, S. u.a.:** (Purchasing) Purchasing Principles and Applications, 8. Aufl., New York 1991.
- Hirschfelder, K.:** (Systeme) Systeme: Ein Trend in der Beschaffung setzt sich durch, in: Beschaffung aktuell 1999 (9), S. 40 – 45.

- Hofer, C. W.; Schendel, D.:** (Strategy formulation) Strategy Formulation: Analytical Concepts, St. Paul u. a. 1978.
- Homburg, C.:** (Lieferantenzahl) Bestimmung der optimalen Lieferantenzahl für Beschaffungsobjekte: Konzeptionelle Überlegungen und empirische Befunde, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 181 - 199.
- Hradezky, J. u.a.:** (Sprachbarrieren): Durchbruch erst nach Abbruch der Sprachbarrieren, in: Beschaffung aktuell 2001 (10), S. 40 - 41.
- Hümmer, B.:** (Kernkompetenzen) Strategisches Management von Kernkompetenzen im Hyperwettbewerb: Operationalisierung kernkompetenzorientierten Managements für dynamische Umfeldbedingungen, Wiesbaden 2001, S. 375.
- Hungenberg, H.:** (Management) Strategisches Management in Unternehmen: Ziele - Prozesse – Verfahren, Wiesbaden 2000.
- Kalbfuß, W.:** (Materialgruppenmanagement) Materialgruppenmanagement, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 835 - 865.
- Kaufmann, F.:** (Internationalisierung) Internationalisierung durch Kooperation: Strategien für mittelständische Unternehmen, Wiesbaden 1993.
- Kaufmann, L.:** (Purchasing) Purchasing and Supply Management – A Conceptual Framework, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 3 – 33.
- Kern, W.; Schröder, H.H.; Weber, J (Hrsg.):** (Handwörterbuch) Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Stuttgart 1996.
- Klaus, P.; Krieger, W. (Hrsg.):** (Lexikon) Gabler Lexikon Logistik A - Z: Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 2. Aufl., Wiesbaden 2000.
- Klein, H.:** (Beitrag) Der Beitrag des Einkaufs zum Turnaround von Siemens Transportation Systems, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 973 - 994.
- Kleinaltenkamp, M.:** (Materialgruppenmanagement) Materialgruppenmanagement, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 167 - 178.
- Koppelman, U.:** (Beschaffungsmarketing) Beschaffungsmarketing, 4. Aufl., Berlin 2004.
- Kraljic, P.:** (Versorgungsmanagement) Versorgungsmanagement statt Einkauf, in: Harvard manager 1985, S. 6-14.
- Krampf, P.:** (Beschaffungsmanagement) Strategisches Beschaffungsmanagement in industriellen Großunternehmen: Ein hierarchisches Konzept am Beispiel der Automobilindustrie, Lohmar Köln 2000.
- Krokowski, W. (Hrsg.):** (Globalisierung) Globalisierung des Einkaufs: Leitfaden für den internationalen Einkäufer, Berlin u.a. 1998.
- Kuhn, A.; Hellingrath, B.:** (Supply Chain) Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, Berlin Heidelberg 2002.
- Lambert, D.M.; Stock, J.R.; Ellram, L.M.:** Fundamentals of Logistics Management, Boston u.a. 1998.
- Large, R.:** (Beschaffungsmanagement) Strategisches Beschaffungsmanagement: Eine praxisorientierte Einführung, 2. Aufl., Wiesbaden 2000.
- Lieberum, J.:** (4-Ebenen-Modell) Das 4-Ebenen-Modell der Beschaffungsstrategie, Göttingen 2002.
- Lysons, K.:** (Purchasing) Purchasing and Supply Chain Management, 5. Aufl., Harlow England u. a. 2000.
- Marbacher, A.:** (Supply) Demand & Supply Chain Management, Bern u.a. 2001.
- Müller-Stewens, G.; Lechner, C.:** (Management) Strategisches Management: Wie strategische Initiativen zum Wandel führen, Stuttgart 2001.
- Pfohl, H.-C.; Large, R.:** (Beschaffungsstrategien) Beschaffungsstrategien und strategisches Beschaffungsmanagement, in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 433 – 452.
- Porter, M. E.:** (Wettbewerbsstrategie) Wettbewerbsstrategie, Frankfurt a.M. 1983.
- Porter, M. E.:** (Wettbewerbsvorteile) Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt New York 1986.
- Prahalad, C.; Hamel, G.:** (Core competence) The Core Competence of the Corporation, in: Harvard Business Review, 1990 (3), S. 79 ff.
- Quervain, M.; Wagner, S.:** (Strategiefindung) Von der Strategiefindung zur Strategieumsetzung , in: Boutellier, R.; Wagner, S.; Wehrli, H. (Hrsg.) (Handbuch) S. 99 – 131.
- Ramsay, J.:** (Irrelevance) Purchasing's strategic irrelevance, in: European Journal of Purchasing and Supply Management 2001 (4), S. 257 – 263.
- Rappaport, A.:** (Shareholder) Shareholder Value: Wertsteigerung als Maßstab für die Unternehmensführung, Stuttgart 1995.

- Römer, G.:** (Beschaffungsnetzwerk) Steuern eines global verteilten Beschaffungsnetzwerks, in: Beschaffung aktuell 2003 (1), S. 35 - 37.
- Rüdrich, G.; Kalbfuß, W.; Weißer, K.:** (Materialgruppenamangement) Materialgruppenmanagement: Quantensprung in der Beschaffung, 2. Aufl., Wiesbaden 2004.
- Saunders, M.:** (Strategic) Strategic Purchasing & Supply Chain Management, 2. Aufl., London 1997.
- Schary, P.; Skjott-Larsen, T.:** (Supply Chain) Managing the Global Supply Chain, Copenhagen 1995.
- Schneid, L.; Seeger, A.:** (Lieferantenoptimierung) Strategische Lieferantenoptimierung mit Methode, in Beschaffung aktuell 2003 (6), S. 30 - 33.
- Schreyögg, G.:** (Unternehmensstrategie) Unternehmensstrategie: Grundfragen einer Theorie strategischer Unternehmensführung, Berlin New York 1984.
- Schuff, G.:** (Entwicklungsperspektiven) Entwicklungsperspektiven für die Beschaffung in der Weltautomobilindustrie, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 55 - 79.
- Schulte, C.:** (Logistik) Logistik: Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses, 3. Aufl., München 1999.
- Stadtler, H.; Kilger, C. (Hrsg.):** (Supply Chain) Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies, Berlin u.a. 2000.
- Steinmann, H.; Schreyögg, G. (Management):** Management: Grundlagen der Unternehmensführung; Konzepte - Funktionen - Fallstudien, 4. Aufl., Wiesbaden 1997.
- Theisen, P.:** (Beschaffungspolitik) Grundzüge einer Theorie der Beschaffungspolitik, Berlin 1970.
- Theuer, G.; Schiebel, W.; Schäfer, R. (Hrsg.):** (Beschaffung) Beschaffung: Ein Schwerpunkt der Unternehmensführung, Landsberg 1986.
- Wagner, M.:** (Demand) Demand Planning, in: Stadtler, H.; Kilger, C. (Hrsg.) (Supply Chain), S. 97 - 115.
- Wagner, S.:** (Lieferantenmanagement) Strategisches Lieferantenmanagement in Industrieunternehmen: Eine empirische Untersuchung von Gestaltungskonzepten, Frankfurt a.M. u.a. 2001.
- Weele van, A. J.:** (Purchasing) Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Planning and Practice, 3. Aufl., London u.a. 2002.
- Welge, M.; Al-Laham, A.:** (Management) Strategisches Management: Grundlagen - Prozess - Implementierung, 2. Aufl., Wiesbaden 1999.
- Wiendahl, H.-P.:** (Betriebsorganisation) Betriebsorganisation für Ingenieure, 4. Aufl., München Wien 1997.
- Wildemann, H.:** (Einkaufspotentialanalyse) Einkaufspotentialanalyse: Leitfaden zur Kostensenkung und Gestaltung der Abnehmer-Lieferanten-Beziehung, 10. Aufl., München 2001.
- Wildemann, H.:** (Insourcing) Insourcing: Ein Konzept zur Reintegration von Leistungsumfängen, in DBW 1994, S. 415 - 417.
- Wildemann, H.:** (Konzept) Das Konzept der Einkaufspotentialanalyse: Bausteine und Umsetzungsstrategien, in: Hahn, D.; Kaufmann, L. (Hrsg.) (Handbuch) S. 543 - 561.
- Williamson, O.:** (Institutionen) Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus: Unternehmungen, Märkte, Kooperationen, Tübingen 1990.
- Wolters, H.:** (Modul- und Systembeschaffung) Modul- und Systembeschaffung in der Automobilindustrie: Gestaltung der Kooperation zwischen europäischen Hersteller- und Zulieferunternehmen, Wiesbaden 1995.

Ein modulares physikalisches Modell zur Simulation von Kälteanlagen

Prof. Dr. Risto Ciconkov

Masinski Fakultet

University "St. Kiril and Metodij"
Skopje, Mazedonien

Prof. Dr.-Ing. Arnd Hilligweg

Fachbereich Maschinenbau
und Versorgungstechnik

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Abstract

Kompressionskälteanlagen sind im Betrieb vielfältigen Einflüssen unterworfen, die direkt auf einzelne Komponenten, indirekt auf die gesamte Anlage einwirken. Um den Betriebspunkt, der sich im Zusammenspiel der Komponenten einstellt, zu bestimmen, wird hier im ersten Schritt das Leistungsverhalten der einzelnen Komponenten dargestellt. Danach wird durch Überlagerung das Betriebsverhalten der gesamten Kälteanlage simuliert.

The performance of cold vapour refrigerating plants is depending on a multitude of parameters which directly influence a single component only. However, they have an indirect effect on all other components as well. To predict the balance point as a result of the interaction of all components it is necessary to simulate the performance of each component separately. By superposition it is then possible to predict the whole refrigerating plant's operational data.

1. Einleitung

Kompressionskälteanlagen sind im Betrieb vielfältigen Einflüssen unterworfen, die direkt auf einzelne Komponenten, indirekt aber auf die gesamte Anlage einwirken. Um den Betriebspunkt, der sich im Zusammenspiel der Komponenten einstellt, zu bestimmen, muß im ersten Schritt das Leistungsverhalten der einzelnen Bauteile dargestellt werden.

Die Hauptkomponenten einer einstufigen Kaltdampf-Kälteanlage sind Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und Drosseleinrichtung. Das Leistungsverhalten dieser Komponenten hat jeweils einen eigenen Einfluß auf jede der anderen Komponenten [1,2]. Zum Beispiel bewirkt eine Änderung der Verdampfungstemperatur auch eine Änderung der Arbeitsbedingungen der anderen Komponenten. Die Hauptkomponenten sollten wie die Musiker eines Quartetts zusammenspielen! Im stationären Betrieb stellt sich ein Gleichgewichtszustand mit entsprechender Kälteleistung ein [3]. Um sicherzustellen, daß die Kälteanlage unter Betriebsbedingungen die gewünschte Leistung bringt, müssen die Komponenten in ihrem Leistungsverhalten aufeinander abgestimmt sein.

In Herstellerunterlagen sind die Leistungsdaten von Komponenten, Verflüssigungssätzen oder Kälteanlagen dargelegt. Üblicherweise werden sie durch Laborversuche gewonnen. Nachteilig sind die hohen Kosten, im besonderen bei mittleren und großen Anlagen, und die Tatsache, daß natürlich nur fertige Anlagen vermessen werden können. Dabei können zwar Betriebsbedingungen wie Durchflußraten oder Temperaturen geändert werden, ein Austausch von Komponenten ist aber nicht praktikabel.

Daher ist es günstiger, eine Methode zu finden, die zur Vorhersage des Leistungsverhaltens der Komponenten und des Systems vor ihrer Fertigung genutzt werden kann [4]. Die Genauigkeit dieser Methode ist zu Beginn zu überprüfen. Sie hängt von der Güte eines möglichst detaillierten mathematischen Modells unter Einbezug von Wärmeübergangsbeziehungen und Zustandsgrößen der beteiligten Stoffe ab und sollte mit typischen Herstellerdaten verglichen werden.

2. Simulation von Rohrbündelverflüssigern

In diesem Kapitel wird eine Methode zur Vorhersage des Leistungsverhaltens von Rohrbündelverflüssigern erläutert und in einer mathematischen Simulation angewandt.

2.1. Beschreibung der physikalischen Vorgänge

Die vom gekühlten Objekt aufgenommene Wärme und die Verdichtungsarbeit werden über den Verflüssiger an die Umgebung (Luft oder Wasser) abgegeben. Während der Wärmeübertragung wird der Dampf eines reinen Kältemittels beim Kondensationsdruck p_c und der Temperatur t_c in Flüssigkeit umgewandelt. (Kältemittel-mischungen weisen einen Temperaturgleit während der Kondensation oder Verdampfung auf.) Das Temperaturprofil eines Kondensationsprozesses ist in Bild 1 dargestellt. (L ist die Längenkoordinate des Verflüssigers.)

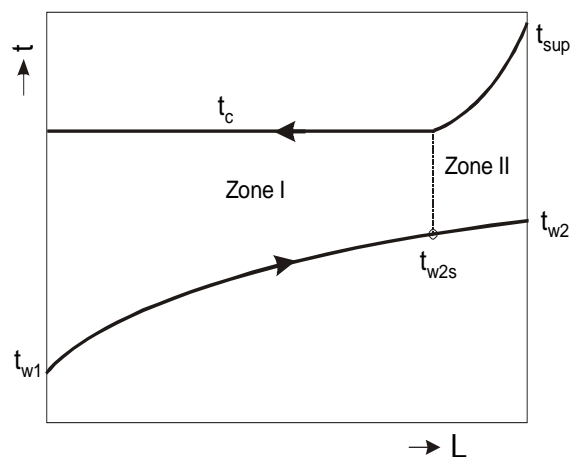


Bild 1: t, L - Diagramm des Kondensationsprozesses

Das Kältemittel strömt als überhitzter Dampf (t_{sup}) in den Verflüssiger, wird auf Sattdampfbedingungen abgekühlt (Zone II: Enthitzung) und dann bei der Temperatur t_c kondensiert (Zone I). Das Kühlwasser erwärmt sich stetig von t_{w1} auf t_{w2} .

Da der Kondensationsschritt dominiert, wird er häufig allein zur Abschätzung des Wärmestroms herangezogen. Der Anteil, den die Enthitzung beiträgt, sowie dessen beschreibende Gleichungen werden weiter unten erläutert. Zuvor wird gezeigt wie der vereinfachte Fall gerechnet werden kann.

Der bei der Kondensation freigesetzte Wärmestrom berechnet sich zu

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_w \cdot c_w (t_{w2} - t_{w1}) \quad (1)$$

und ebenfalls zu

$$\dot{Q}_c = k \cdot A \cdot \Delta t_m \quad (2)$$

mit der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz

$$\Delta t_m = \frac{(t_c - t_{w1}) - (t_c - t_{w2})}{\ln \frac{t_c - t_{w1}}{t_c - t_{w2}}} \quad (3)$$

oder kürzer

$$\Delta t_m = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\ln \frac{t_c - t_{w1}}{t_c - t_{w2}}} \quad (4)$$

Durch Kombination der obenstehenden Gleichungen erhält man [2]:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_w c_w (t_c - t_{w1}) \left[1 - \frac{1}{\exp(kA / \dot{m}_w c_w)} \right] \quad (5)$$

Diese Gleichung beschreibt das Leistungsverhalten bei reiner Kondensation. Bei gegebenem Massenstrom stellt sie eine Funktion mit nur zwei unabhängigen Variablen dar. Diese sind die Kondensationstemperatur t_c und die Wassereintrittstemperatur t_{w1} .

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_c(t_c, t_{w1}) \quad (6)$$

Es sei angemerkt, daß in dieser Funktion abhängige Variablen enthalten sind, die nicht einfach zu berechnen sind, wie z.B. die Wasseraustrittstemperatur t_{w2} , der Wärmeübergangskoeffizient auf der Kältemittelseite, der Wärmedurchgangskoeffizient k und andere. Einige Gleichungen sind zudem in impliziter Form gegeben.

Ein praktikabler Weg besteht darin, zunächst einen spezifischen Wärmestrom q anzunehmen

$$\dot{Q}_c = A \cdot q \quad (7)$$

und dann alle Wärmeübergangs- und hydraulischen Berechnungen durchzuführen und den berechneten mit dem angenommenen Wert zu vergleichen. Durch Iteration kann Gleichheit der beiden Werte hergestellt werden. Ebenso kann folgende Gleichung verwendet werden:

$$q = k \cdot \Delta t_m \quad (8)$$

In den Gleichungen (7) und (8) korrespondieren die Größen von q_i und k_i mit der inneren (A_i), sowie q_e und k_e mit der äußeren Wärmeübertrageroberfläche A_e .

2.2. Simulation komplexer Wärmeübertragungsprozesse

Wie in Bild 1 gezeigt erfolgt zu Beginn eine Enthitzung des Kältemittels. Da sich der Wärmeübergangskoeffizient dieses Vorgangs ohne Phasenwechsel deutlich von demjenigen während der Kondensation unterscheidet, folgen sehr unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten für die Zonen I und II. Zudem kann keine einheitliche mittlere logarithmische Temperaturdifferenz über den gesamten Verflüssiger definiert werden, da die Temperaturänderung des Kältemittels in Zone II groß ist, während in Zone I keine Temperaturänderung mehr auftritt.

Wie kann dieses Problem gelöst werden? Es wird hier vorgeschlagen, den Verflüssiger als zwei unabhängige Wärmeübertrager zu betrachten [5], der erste für Zone I und der zweite für Zone II. Die gesamte abgeführte Wärme setzt sich dann aus zwei Anteilen zusammen:

\dot{Q}_{lat} - Kondensationswärme (latent) und \dot{Q}_{sup} - Enthitzungswärme.

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{lat} + \dot{Q}_{sup} \quad (9)$$

Die äußeren Wärmeübertragungsflächen sind:

$$A_e = A_{e1} + A_{e2} \quad (10)$$

Nun wird eine bezogene Wärmestromdichte $q_{e,tr}$ für den gesamten Verflüssiger eingeführt. Unter Annahme eines bestimmten $q_{e,tr}$ kann damit die gesamte Kondensationsleitung bestimmt werden:

$$\dot{Q}_c = A_e \cdot q_{e,tr} \quad (11)$$

Analog zu Gleichung (9) ist die abgegebene spezifische Wärme:

$$q_c = q_{lat} + q_{sup} \quad (12)$$

q_{lat} kann aus der Dampftafel des Kältemittels entnommen werden.

q_{sup} kann ebenfalls als Enthalpiedifferenz abgelesen oder wie folgt abgeschätzt werden:

$$q_{sup} = c_{sup} \cdot (t_{sup} - t_c) \quad (13)$$

Zur Berechnung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen ist der Temperaturverlauf nach Bild 1 zu berücksichtigen, wenn für beide Zonen einzelne Werte bestimmt werden sollen. Dabei sei die Wassereintrittstemperatur in Zone II gleich t_{w2s} . Es ergeben sich die folgenden mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen:

Zone I

$$\Delta t_{m1} = \frac{(t_c - t_{w1}) - (t_c - t_{w2s})}{\ln \frac{t_c - t_{w1}}{t_c - t_{w2s}}} \quad (14)$$

Zone II

$$\Delta t_{m2} = \frac{(t_{sup} - t_{w2}) - (t_c - t_{w2s})}{\ln \frac{t_{sup} - t_{w2}}{t_c - t_{w2s}}} \quad (15)$$

Weitere Gleichungen, die zur Berechnung von Wärmeübertragung und Druckverlust herangezogen wurden, sind im Anhang (Kap. 2.5.) enthalten. Der Rechengang der Simulation ist komplex und nur iterativ zu lösen [6]. Es wurde daher ein Rechenprogramm [7] erstellt, welches u.a. Polynome zur Berechnung der Zustandsgrößen vielfältiger Kältemittel [5,8] und Wasser als Kälte­träger enthält. Auch die Unterscheidung von Glatt- und Rippenrohren ist möglich.

Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten bei Kondensation (Zone I) beruht auf einer Gleichung in impliziter Form:

$$F(t_c, t_{w1}, t_{w2}, t_z, \alpha_w, \Sigma R, \dots) = 0 \quad (16)$$

Mittels Newton-Raphson-Verfahren werden die Rohrwandtemperatur und der Wärmedurchgangskoeffizient mit einer Iterationsgenauigkeit von 0,0005 (= 0,05 %) bestimmt.

2.3. Darstellung des Leistungsverhaltens an einem konkreten Beispiel

Eingabedaten

$\dot{m}_w = 5,5 \text{ kg/s}$	Massenstrom Wasser
$D = 207 \text{ mm}$	innerer Manteldurchmesser
$L = 1.740 \text{ mm}$	aktive Rohrlänge
$n_p = 2$	Anzahl der Pässe
$n_t = 60$	Anzahl der Rohre
$d_e = 15,7 \text{ mm}$	äußerer Rohrdurchmesser
$d_i = 11,1 \text{ mm}$	innerer Rohrdurchmesser (Berippte Kupferrohre, Typ Wieland GEWA K-2615-12080-00)
$s = 20,0 \text{ mm}$	Rohrabstand
$A_e/A_i = 4,6$	Verhältnis von äußerer zu innerer Wärmeübertragerfläche
$R_o = 0,0 \text{ m}^2\text{K/W}$	Verschmutzungsfaktor, Rohraußenseite
$R_i = 0,00005 \text{ m}^2\text{K/W}$	Verschmutzungsfaktor, Rohrin­nenseite
$\Delta t_{sup} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	Überhitzung

Ergebnisse

t_c	t_{w1}	t_{w2}	k_e	α_R	α_w	Q_c
[°C]	[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[kW]
32,0	22,0	26,5	1018,8	5547,7	8113,5	103,3
34,0	22,0	27,4	1011,2	5249,8	8155,0	123,2
36,0	22,0	28,2	1004,0	4988,6	8196,1	143,0
38,0	22,0	29,1	996,9	4754,1	8237,0	162,7
40,0	22,0	29,9	989,8	4539,8	8277,7	182,4
32,0	24,0	27,6	1035,4	5756,7	8247,7	83,8
34,0	24,0	28,5	1026,5	5407,1	8289,2	103,8
36,0	24,0	29,4	1018,2	5112,3	8330,4	123,7
38,0	24,0	30,3	1010,3	4854,3	8371,4	143,6
40,0	24,0	31,1	1002,5	4622,7	8412,1	163,4
32,0	26,0	28,8	1054,1	6043,6	8380,6	64,0
34,0	26,0	29,7	1043,0	5610,4	8422,2	84,2
36,0	26,0	30,5	1033,3	5265,7	8463,6	104,3
38,0	26,0	31,4	1024,3	4974,8	8504,6	124,2
40,0	26,0	32,3	1015,7	4720,2	8545,4	144,1
32,0	28,0	29,9	1076,4	6483,4	8511,7	43,8
34,0	28,0	30,8	1061,7	5890,2	8553,9	64,3
36,0	28,0	31,7	1049,8	5463,9	8595,5	84,6
38,0	28,0	32,6	1039,4	5124,3	8636,6	104,7
40,0	28,0	33,4	1029,7	4837,6	8677,4	124,7

Tabelle 1: Leistungsverhalten des betrachteten Verflüssigers

Der kältemittelseitige Wärmeübergangskoeffizient α_R und der Wärmedurchgangskoeffizient k_e in Tabelle 1 sind für Zone I angegeben, da der Kondensationsvorgang dominierend ist.

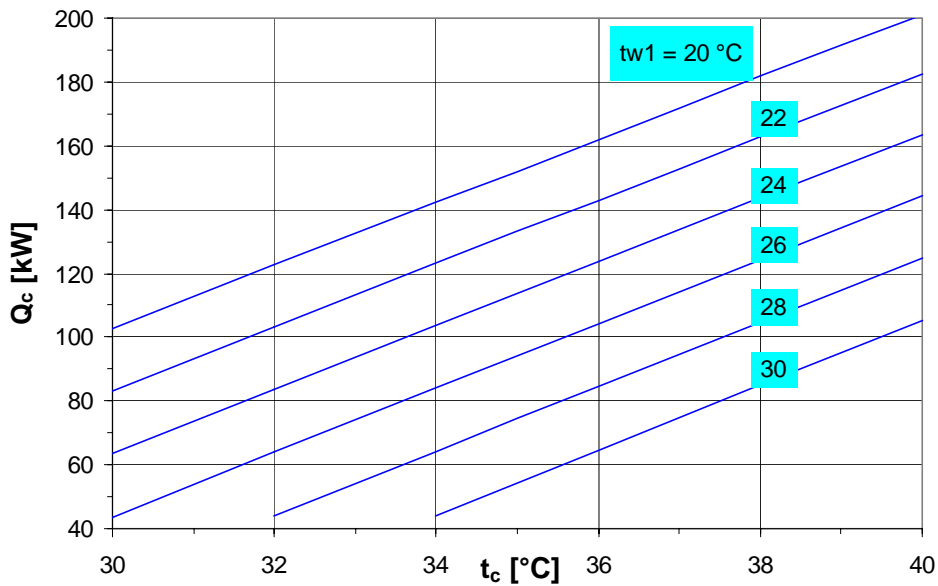


Bild 2: Graphische Darstellung des Leistungsverhaltens (t_{w1} – Wassereintrittstemperatur)

Bei konstanter Wassereintrittstemperatur t_{w1} nimmt der übertragene Wärmestrom mit zunehmender Kondensationstemperatur t_c zu. Der Grund dafür ist die zunehmende Temperaturdifferenz Δt_m zwischen Kältemittel und Wasser (siehe Gl.(2)). In der praktischen Anwendung wird man aber eher eine niedrige Kondensationstemperatur anstreben, um eine geringe Leistungsaufnahme des Verdichters zu erzielen.

In der graphischen Darstellung kann gesehen werden, daß die Abhängigkeit der Kondensationsleistung \dot{Q}_c von der Kondensationstemperatur t_c bei konstantem Wert von t_{w1} fast linear ist. Grund dafür ist der geringe Einfluß des Exponentialterms $[1 - 1/\exp(\dots)]$ in Gleichung (5). Bei $t_{w1} = 20$ °C und Änderung von t_c von 30 °C auf 40 °C ändert er sich von 0,3758 auf 0,3590, bei $t_{w1} = 30$ °C und Änderung von t_c von 34 °C auf 40 °C ändert er sich von 0,3994 auf 0,3751. Diese Betrachtung bezieht sich wieder auf den dominierenden Kondensations-schritt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist im Enthitzungsbereich deutlich geringer als im Kondensationsbereich. Bei Dampfgeschwindigkeiten von 0,35 bzw. 0,95 m/s beträgt er 100 bzw. 200 W/m²K (bei Annahme von 40 °C Überhitzungstemperatur). Im Vergleich dazu beträgt er während des Kondensationsprozesses ca. 1000 W/m²K (siehe Tab. 1).

Das erstellte Rechenprogramm bietet viele Möglichkeiten, die Einflüsse verschiedener Konstruktionen, Wärmeübertragungs- oder Druckverlustparameter auf das Leistungsverhalten des Verflüssigers zu untersuchen. Eine davon ist die Betrachtung verschiedener Wasservolumenströme. In Bild 3 ist die Variation des Massenstroms von $\dot{m}_w = 2,89 - 7,51$ kg/s ($w = 1,0 - 2,6$ m/s) bei $t_c = 40$ °C und $t_{w1} = 28$ °C dargestellt.

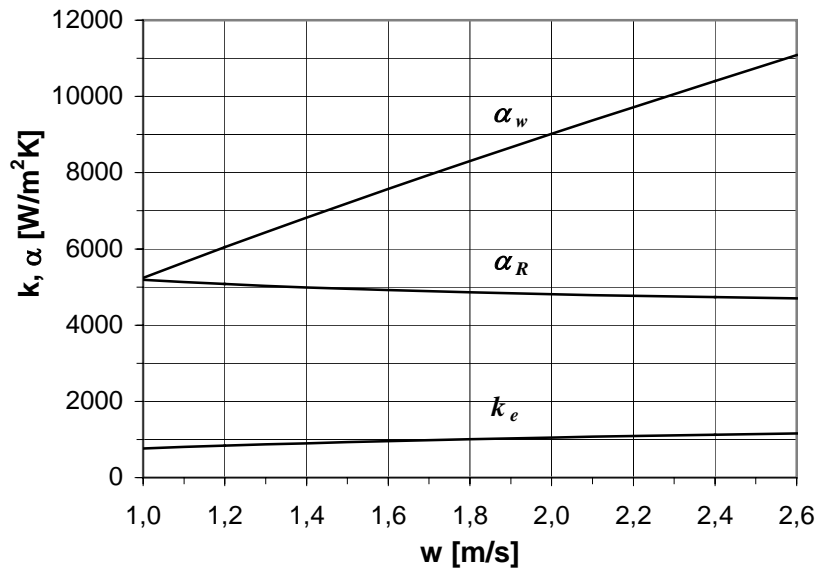


Bild 3: Wärmedurchgangs- und -übergangskoeffizienten bei veränderlicher Strömungsgeschwindigkeit

Im betrachteten Geschwindigkeitsbereich ist ein deutlicher Anstieg des wasserseitigen Wärmeübergangskoeffizienten zu erkennen. Dadurch erhöht sich der Wärmedurchgangskoeffizient k_e von 766 auf 1.160 W/m²K (+ 51 %); die Kondensationsleistung \dot{Q}_c steigt von 86,1 auf 145 kW (+ 68 %).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Einfluß von wasserseitigen Ablagerungen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten und damit die Kondensationsleistung zu simulieren [9]. Der Einfluß ihrer Schichtdicke auf den Wärmedurchgangskoeffizienten und damit die Abnahme der Kondensationsleistung soll hier nachgebildet werden. Dazu werden $t_{w1} = 28$ °C und $t_c = 40$ °C gesetzt, womit sich eine Kondensationsleistung von $\dot{Q}_c = 124,7$ kW ergibt.

In diesem Wert ist bereits der in den obenstehenden Eingabedaten aufgeführte Verschmutzungsfaktor von $R_i = 0,00005$ m²K/W enthalten, der sich zu $R_i = b / \lambda$ berechnet. Unter Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 2$ W/m²K (z.B. für Kalk) ergibt sich eine Schichtdicke von $b = 0,1$ mm. Entsprechend führt eine Schichtdicke von 1 mm zu einem Verschmutzungsfaktor von $R_i = 0,0005$ m²K/W.

Bild 4 zeigt die Abhängigkeit der Kondensationsleistung \dot{Q}_c von der Schichtdicke der Kalkablagerung. Schon ein Verschmutzungsfaktor von $R_i = 0,0003$ m²K/W, entsprechend einer Schichtdicke von 0,6 mm führt zu einer Abnahme des Wärmestroms auf $\dot{Q}_c = 72,3$ kW. Dies entspricht einer Verminderung um ca. 50 % im Vergleich zur sauberen Rohrrinnenwand und verdeutlicht die Wichtigkeit einer sorgfältigen Wasseraufbereitung - im besonderen bei innenberippten Rohren, die hier jedoch nicht betrachtet wurden.

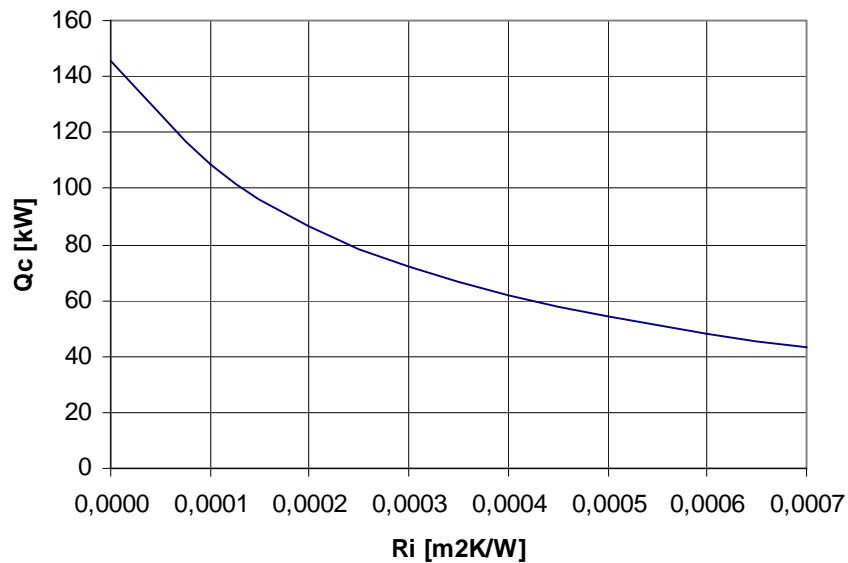


Bild 4: Einfluß des Verschmutzungsfaktors

2.4. Zusammenfassung Kapitel 2

Im zweiten Kapitel dieses Beitrags wurden Beispiele für die Vorhersage des Leistungsverhaltens eines Rohrbündelverflüssigers vorgestellt. Die komplexe Aufgabenstellung der kombinierten Enthitzung und Kondensation wurde mit einem eigenen Ansatz und darauf aufbauendem Rechenprogramm gelöst. Dieses kann u.a. dazu genutzt werden, die Einflüsse veränderlicher geometrischer Daten, Temperaturen, Durchflussmengen oder Verschmutzungen vorherzubestimmen.

Anhand eines konkreten Beispiels wurde gezeigt, daß die Kondensationsleistungen sich in Abhängigkeit der Kondensations- und der Wassereintrittstemperaturen als eine Schar annähernd linearer Kurven darstellen. Die Kondensationsleistung nimmt mit steigender Kondensationstemperatur zu – die Aufgabe, den Verflüssiger zu optimieren, würde also zu hohen Kondensationstemperaturen führen. Dies hätte aber eine hohe Verdichterantriebsleistung zur Folge. Im dritten Kapitel dieses Beitrags soll daher das Zusammenspiel von Verdichter und Verflüssiger betrachtet werden.

2.5. Anhang zu Kapitel 2

Wärmeübergangsgleichungen in Rohrbündelapparaten

Auf die äußere Wärmeübertragerfläche bezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_R} + R_e + R_i \frac{d_e}{d_m} + \left(R_i + \frac{1}{\alpha_w} \right) \frac{A_e}{A_i}} \quad (17)$$

Wärmeübergangskoeffizient in den Rohren (wasserseitig):

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (18)$$

Vereinfachte Gleichung für den Wärmeübergangskoeffizienten:

$$\alpha_w = B_w \frac{w^{0,8}}{d_i^{0,2}} \quad (19)$$

wobei B_w nur Zustandsgrößen des Wassers enthält:

$$B_w = 0,023 \cdot \rho^{0,8} \cdot c^{0,4} \cdot \lambda^{0,6} \cdot \eta^{-0,4} \quad (20)$$

Spezifischer Wärmestrom bezogen auf die Wasserseite:

$$q_i = \frac{t_z - t_{wm}}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum R_i} \quad (21)$$

Wärmeübergangskoeffizient im Mantel (Kondensation des Kältemittels):

$$\alpha_R = 0,725 \cdot \left(\frac{g \cdot h_c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\eta \cdot d_e (t_c - t_z)} \right)^{0,25} \cdot f^{-1/6} \cdot \psi_c \cdot \psi_w \quad (22)$$

Die oben aufgeführten Zustandsgrößen sind für siedende Flüssigkeit bei Kondensationstemperatur zu ermitteln. Sie können im Koeffizienten B zusammengefaßt werden:

$$B = \left(\frac{g \cdot h_c \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\eta} \right)^{0,25} \quad (23)$$

Einbezug des Koeffizienten B in Gleichung (22) führt zu:

$$\alpha_R = 0,725 \cdot B \cdot d_e^{-0,25} \cdot f^{-1/6} \cdot \psi_c \cdot \psi_w (t_c - t_z)^{-0,25} \quad (24)$$

Der Koeffizient ψ_c hängt vom Profil des verwendeten Rohres ab; er berücksichtigt die Kondensation auf beidseitigen Rohren. Mit dem Koeffizienten ψ_w wird der Einfluß der Dampfgeschwindigkeit aufgenommen:

$$\psi_w = 0,43 \cdot (Re'')^{0,12} \cdot (Pr'')^{0,4} \quad (25)$$

Dabei ist Re'' die Reynoldszahl des Dampfes im oberen Verflüssigerbereich. In Zone II strömt der Kältemitteldampf die Rohre quer an. Die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten für diesen Fall ist in [7] beschrieben.

Die vorstehend zusammengestellten empirischen Gleichungen können im Simulationsprogramm erweitert, modifiziert oder ausgetauscht werden, wenn auf der Basis anderer Quellen gerechnet oder speziellen Konstruktionen Rechnung getragen werden soll.

3. Simulation von Hubkolbenverdichtern

In Herstellerkatalogen sind die Leistungsdaten eines Verdichters wie Kälteleistung oder Antriebsleistung abhängig von Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur aufgeführt. Im praktischen Einsatz müssen diese Leistungsdaten nicht unbedingt zutreffen. Grund dafür ist die Wechselwirkung mit den anderen Komponenten, die bestimmte eigene Einflüsse ausüben.

Im besonderen die Leistungscharakteristiken von Verdampfer und Verflüssiger beeinflussen das Leistungsvermögen des Kältemittelverdichters. Eine Kälteanlage muß daher im Zusammenhang betrachtet werden [1,2]. Bei stationären Betriebsbedingungen stellt sich ein Gleichgewichtszustand mit korrespondierender Kälteleistung ein [3]. Er kann durch Überlagerung der einzelnen Leistungscharakteristiken aller Komponenten gefunden werden.

Grundlage dafür ist in diesem Kapitel die Betrachtung eines Hubkolbenverdichters. Der betrachtete Verdichter soll mit dem im ersten Teil dieses Beitrags beschriebenen Rohrbündelverflüssiger [10] kombiniert werden. Vor der Analyse des gemeinsamen Leistungsverhaltens beider Komponenten wird zunächst die Modellierung des Verdichters dargestellt.

3.1. Mathematisch-physikalische Beschreibung der Verdichtung

Zur Verdeutlichung der Einbindung des Verdichters ist in Bild 5 ein Kaltdampf-Kälteanlagenprozeß dargestellt. Im Verdampfer (4-1) nimmt das Kältemittel Wärme bei Kühlstellentemperatur auf und erreicht dabei einen leicht überhitzten Zustand. Durch die Saugleitung zieht der Verdichter Kältemitteldampf aus dem Verdampfer und verdichtet es auf einen höheren Druck (1-2), wobei sich auch die Temperatur deutlich erhöht. Auf dem höheren Druckniveau wird das Kältemittel im Verflüssiger kondensiert (2-3).

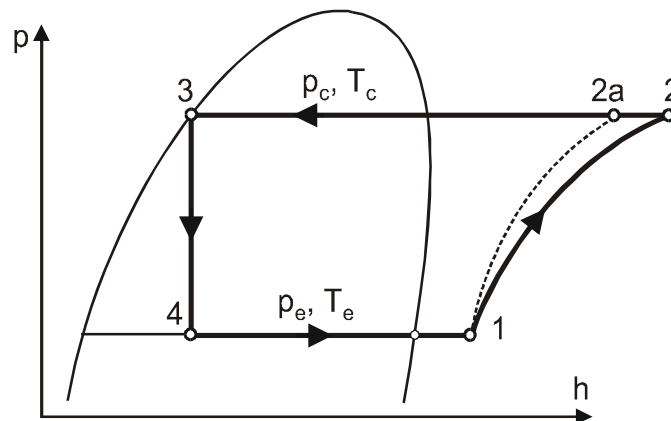


Bild 5: Kaltdampf-Kälteprozeß (1-2a isentrope Verdichtung, 1-2 reale Verdichtung)

Die Kälteleistung des Prozesses bzw. des Verdichters hängt bei gegebenen Betriebsbedingungen vom Massenstrom des geförderten Kältemittels ab. Theoretisch ist der Massenstrom einfach zu bestimmen - er ergibt sich als Produkt aus Gasdichte und verdrängtem Volumen pro Zeiteinheit:

$$\dot{m}_t = \rho_1 \cdot \dot{V}_t \quad (26)$$

\dot{m}_t	- theoretischer Massenstrom	[kg/s]
ρ_1	- Gasdichte am Verdichtereintritt	[kg/m ³]
\dot{V}_t	- theoretischer Fördervolumenstrom	[m ³ /s]

Die tatsächliche Förderleistung weicht von der theoretischen aufgrund verschiedener Verlustmechanismen ab, woraus sich eine verminderte Kälteleistung bzw. eine erhöhte Leistungsaufnahme ergibt. Abhängig von der Verdichterbauart können die nachstehenden Faktoren einen Einfluß auf den Verdichterwirkungsgrad haben [3]:

- *Rückexpansion*. Zu Beginn des Ansaugvorgangs erfolgt die Rückexpansion des im Totraum verbliebenen verdichteten Gases in den Zylinderraum, wodurch sich die angesaugte, d.h. geförderte Gasmenge verringert.
- *Druckverluste im Verdichter*. Durch Ansaug- und Auslaßkanäle, Ventile, Filter, Abscheider, o.a.
- *Erwärmung des Kältemittels*. Aufgrund der Kompression, Wärmeübertragungen in Verdichter oder Ölpumpe, Reibung, Antriebsmotor (hermetische Verdichter).
- Innere Gasundichtheiten
- Abweichung vom isentropen Verdichtungs Vorgang

Diese Abweichungen vom theoretischen Verhalten können einzeln nur sehr schwer bestimmt werden. Sie können aber zusammengefaßt und nach verschiedenen Kategorien betrachtet werden. Ihr Einfluß auf das Leistungsverhalten eines Verdichters wird mit folgenden Kennzahlen beschrieben:

- Liefergrad λ ,
- Verdichterwirkungsgrad η ,
- mechanischer Wirkungsgrad η_m ,
- indizierter Wirkungsgrad η_i
- und tatsächlicher Massenstrom \dot{m} .

3.1.1. Der Liefergrad

Der Liefergrad λ ist das Verhältnis des tatsächlich vom Verdichter angesaugten Volumenstroms zum theoretischen Fördervolumenstrom:

$$\lambda = \dot{V} / \dot{V}_t \quad (27)$$

mit

\dot{V} [m³/s] – tatsächlich angesaugter Fördervolumenstrom

\dot{V}_t [m³/s] – theoretischer Fördervolumenstrom

Der theoretische Fördervolumenstrom ergibt sich aus verdrängtem Hubvolumen pro Zeiteinheit:

$$\dot{V}_t = i \left(\frac{\pi D^2}{4} s \right) n \quad (28)$$

i – Anzahl der Zylinder

D – Bohrung [m]

s – Hub [m]

n – Drehzahl [s⁻¹]

Der tatsächliche Volumenstrom kann entweder durch Messungen ermittelt oder durch Abschätzung des Liefergrades λ berechnet werden [11]:

$$\lambda = \lambda_c \lambda_p \lambda_q \lambda_l \quad (29)$$

Ansätze zur Ermittlung der einzelnen Faktoren werden im folgenden vorgestellt.

3.1.2. Der Liefergrad aufgrund von Rückexpansion

Durch Rückexpansion des im Schadraum verbliebenen komprimierten Restgases wird die angesaugte Menge Frischgas vermindert. Dieser Effekt wird durch λ_c beschrieben und kann für polytrope Expansionsvorgänge wie folgt berechnet werden:

$$\lambda_c = 1 - c \left[\left(\frac{p_c}{p_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \quad (30)$$

c – Schadraumverhältnis

p_c / p_e – Druckverhältnis

n – Polytropenexponent

$n \approx 1$

n kann wie folgt präziser eingegrenzt werden [12]:

Saugdruck [bar]	n
< 1,5	$n = 1 + 0,50(\kappa - 1)$
1,5 ÷ 4,0	$n = 1 + 0,62(\kappa - 1)$
4,0 ÷ 10,0	$n = 1 + 0,75(\kappa - 1)$
10,0 ÷ 30,0	$n = 1 + 0,88(\kappa - 1)$

κ – Isentropenexponent

3.1.3. Der Liefergrad aufgrund von saugseitigen Druckverlusten

$$\lambda_p = 1 - \frac{1 + c}{\lambda_c} \frac{\Delta p_e}{p_e} \quad (31)$$

$$\Delta p_e / p_e = 0,02 \div 0,05 \quad (\text{empfohlen [13]})$$

Das Produkt aus λ_c und λ_p stellt den indizierten Liefergrad dar:

$$\lambda_i = \lambda_c \cdot \lambda_p \quad (32)$$

$$\lambda_i = \frac{p_e - \Delta p_e}{p_e} - c \left[\left(\frac{p_c}{p_e} \right)^{1/n} - \frac{p_e - \Delta p_e}{p_e} \right] \quad (33)$$

3.1.4. Der thermometrische Liefergrad

Der thermometrische Liefergrad λ_q berücksichtigt den Wärmeübergang von Zylindern und Ventilen auf das Kältemittel (Saugdampf).

$$\lambda_q \approx T_e / T_c \quad (34)$$

oder

$$\lambda_q \approx 1 - 0,025(p_c / p_e - 1) \quad (35)$$

3.1.5. Der Dichtheitsgrad

Mit dem Dichtheitsgrad λ_l wird die Rückströmung aufgrund von Undichtheiten an Kolben und Ventilen erfaßt:

$$\lambda_l = 1,00 \div 0,95$$

für Druckverhältnisse $p_c / p_e = 3 \div 5$.

Der Dichtheitsgrad kann durch konstruktive Maßnahmen oder Drehzahlerhöhung verbessert werden.

Die Betrachtung der einzelnen Verlustmechanismen ist damit abgeschlossen. Nun soll der tatsächliche Massenstrom bestimmt werden:

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot \dot{V} = \dot{V} / v_1, \text{ oder} \quad (36)$$

$$\dot{m} = \lambda \cdot \dot{V}_t / v_1 \quad (37)$$

Die tatsächliche Kälteleistung ist somit:

$$\dot{Q}_e = \dot{m} \cdot q_e \quad (38)$$

q_e ist die spezifische Kälteleistung:

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (39)$$

Dabei sind h_4 und h_1 die Enthalpien des Kältemittels am Verdampfereintritt- und austritt.

Durch Einsetzen von Gleichung (37) in Gl. (38) folgt:

$$\dot{Q}_e = \lambda \cdot \dot{V}_t \cdot q_e / v_1 \quad (40)$$

Mit der volumetrischen Kälteleistung

$$q_v = q_e / v_1 \quad (41)$$

folgt die tatsächliche Kälteleistung des Verdichters [13]:

$$\dot{Q}_e = \lambda \cdot \dot{V}_t \cdot q_v \quad (42)$$

Die letzte Gleichung beschreibt das Leistungsverhalten eines Hubkolbenverdichters. Bei bekanntem theoretischem Fördervolumen hängt die tatsächliche Kälteleistung vom Liefergrad λ und der volumetrischen Kälteleistung q_v ab. Die Struktur von λ ist oben beschrieben worden. Aus den Gleichungen (39) und (41) kann abgeleitet werden, daß die Größe von q_v von der Art des Kältemaschinenprozesses und den Stoffeigenschaften des Kältemittels abhängt.

So ergeben sich beispielsweise für den oben gezeigten Grundprozeß bei einer Verdampfungstemperatur von 0 °C und einer Kondensationstemperatur von 40 °C folgende Werte:

Kältemittel R134a	$q_v = 2053 \text{ kJ/m}^3$
Kältemittel R22	$q_v = 3298 \text{ kJ/m}^3$

Dies bedeutet, daß der Verdichter bei Verwendung von R134a ein ca. 38 % größeres Volumen im Vergleich zur Verwendung von R22 fördern muß, um dieselbe Kälteleistung zu erzielen.

3.1.6. Der indizierte Wirkungsgrad

In Bild 5 ist zu sehen, daß sich der tatsächliche Verdichtungs Vorgang (1-2) vom idealen isentropen (1-2a) unterscheidet. Bis auf den Fall eines gekühlten Verdichters wird sich in Punkt 2a immer eine größere Entropie einstellen als in Punkt 2.

Der indizierte (oder isentrope) Wirkungsgrad η_i berücksichtigt also einen Vorgang im Inneren des Verdichtungsraums. Er ist als Verhältnis der Arbeit bei isentroper Kompression zur tatsächlich dem Gas zugeführten ("indizierten") Arbeit definiert:

$$\eta_i = w_{is} / w_i \quad (43)$$

dabei bedeuten die Indices "is" isentrop und "i" indiziert (tatsächlich gemessen)

Der indizierte Wirkungsgrad kann nach [13] abgeschätzt werden:

$$\eta_i = \lambda_{qi} + b \cdot t_e \quad (44)$$

mit

$$\lambda_{qi} = \lambda_q \cdot \lambda_i$$

$b = 0,0010$ – für Ammoniak; $b = 0,0025$ – für Halogenkohlenwasserstoffe.

Diese Gleichung kann zu einer Abschätzung von η_i genutzt werden. Für kleine Verdichtungsverhältnisse oder höhere Verdampfungstemperaturen ist sie nicht zu verwenden. Ungefähre Werte des indizierten Wirkungsgrades können auch Diagrammen [z.B. 13] entnommen werden, in denen sie über dem Verdichtungsverhältnis aufgetragen sind.

Auf der Grundlage veröffentlichter Herstellerangaben von \dot{Q}_C und P_i können weitere Gleichungen entwickelt werden, von denen die nachstehenden eine gute Abschätzung des indizierten Wirkungsgrades des hier betrachteten Verdichters wiedergibt:

für $\Pi = p_c/p_e \leq 5$

$$\eta_i = -0,0206444445 + 0,68403852 \cdot \Pi - 0,22147167 \cdot \Pi^2 + 0,032145926 \cdot \Pi^3 - 0,00178 \cdot \Pi^4 \quad (45)$$

für $\Pi = p_c/p_e > 5$

$$\eta_i = 0,821 - 0,0105 \cdot \Pi \quad (46)$$

Vielfältige aus Messungen gewonnene verlässliche Daten sind verfügbar. Es ist festzustellen, daß sich daraus eine Familie von Polynomen ergibt, die über die Baureihe oder Produktgruppe variieren. Die Gleichungen (45) und (46) wurde für das untenstehende konkrete Beispiel angepaßt.

3.1.7. Mechanischer Wirkungsgrad

Der mechanische Wirkungsgrad η_m des Verdichters ist das Verhältnis der spezifischen indizierten Arbeit W_i zur effektiven Antriebsleistung W_e an der Welle.

$$\eta_m = W_i / W_e \quad (47)$$

3.1.8. Effektiver Wirkungsgrad

Der effektive Wirkungsgrad η_e ist das Verhältnis der minimalen Arbeit bei isentroper Kompression zum realen Arbeitsbedarf an der Welle.

$$\eta_e = W_{is} / W_e = \eta_i \eta_m \quad (48)$$

Damit bestimmt sich die tatsächliche (effektive) Wellenantriebsleistung zu:

$$P_e = \dot{m} \cdot w_e \quad (49)$$

oder

$$P_e = \frac{\lambda \cdot \dot{V}_t (h_2 - h_1)}{v_1 \eta_i \eta_m} \quad (50)$$

Das gebräuchlichste Maß für den Verdichterwirkungsgrad ist jedoch die Leistungszahl der Kältemaschine ε_{KM} . Sie ist das Verhältnis von Kälteleistung \dot{Q}_e zu Leistungsaufnahme P :

$$\varepsilon_{KM} = \dot{Q}_e / P \quad (51)$$

Bei offenen Verdichtern ist P die Wellenleistung, bei hermetischen und halbhermetischen Verdichtern die aufgenommene Motorleistung.

3.2. Simulation des Leistungsverhaltens eines Hubkolbenverdichters

In Herstellerkatalogen wird das Leistungsverhalten eines Kältemittelkompressors abhängig von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur angegeben. Für Kältemittel mit Temperaturleit sind Mittel- bzw. Sättigungstemperaturen passende Referenzwerte. Kälteleistung und Antriebsleistung werden also in folgender Form [14] dokumentiert:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_e(t_e, t_c) \quad (52)$$

$$P_e = P_e(t_e, t_c) \quad (53)$$

Obwohl die Gleichungen (26) bis (53) einfach erscheinen, ist die Berechnung des Leistungsverhaltens eines Verdichters umfangreich und komplex. Für jede Kombination von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur müssen die folgenden Zustandsgrößen bestimmt werden:

Enthalpien am Ein- und Austritt von Verdampfer und Verdichter, Verdampfungs- und Kondensationsdruck, spezifisches Volumen auf der Verdichtersaugseite. Wird wie üblich unterkühlt und überhitzt, so kommen weitere Größen dazu.

Unter Verwendung der vorstehend zusammengestellten Gleichungen wurde ein Simulationsprogramm [15] erstellt, welches fabrikatunabhängig eingesetzt werden kann. Die thermodynamischen Stoffdaten werden auf der Grundlage der Martin-Hou-Gleichung und Veröffentlichungen des International Institute of Refrigeration [16] und ASHRAE [17] für FKWs, HFKWs und Ammoniak, sowie Unterlagen von ICI [18] für FCKWs berechnet.

3.3. Darstellung des Leistungsverhaltens an einem konkreten Beispiel

Die durch Simulation erhaltenen Werte sollen beispielhaft mit dem Leistungsverhalten eines realen Verdichters (Fabrikat BITZER [19] Typ 6G.2) verglichen werden. Einige Eingabedaten konnten nur abgeschätzt werden und sind mit "Annahme" gekennzeichnet.

Eingabedaten

$n = 1450 \text{ min}^{-1}$	– Drehzahl
$i = 6$	– Zylinderzahl
$D = 75 \text{ mm}$	– Bohrung
$s = 55 \text{ mm}$	– Hub
$c = 0,015$	– Schadraumanteil (Annahme)
$\Delta p_o = 0,03 \text{ bar}$	– Druckverlust über das Saugventil (Annahme)
$\eta_m = 0,95$	– mechanischer Wirkungsgrad (Annahme)
R22	– Kältemittel
$\Delta t_{sup} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$	– Überhitzung

Ergebnisse

Im Vergleich zu den Herstellerangaben weisen die durch Simulation erhaltenen Werte folgende Übereinstimmungen bzw. Abweichungen auf. Die Kälteleistungen sind für $t_c = 30\text{ °C}$ fast identisch, für $t_c = 40\text{ °C}$ ergeben sich Abweichungen in der Größenordnung 0 – 2 % und für $t_c = 50\text{ °C}$ Abweichungen von 0 – 4,7 %.

Wird der Liefergrad nach Gl. (29) mit nachstehendem Faktor f_λ multipliziert, ergeben sich für alle drei Kondensationstemperaturen Übereinstimmungen zwischen simulierten und realen Kälteleistungen.

$$f_\lambda = 0.01 \cdot (4.3768571 + 4.7119048E-03 \cdot t_e - 5.7510714E-03 \cdot t_e^2 + 1.6691667E-04 \cdot t_e^3) \cdot (-1.5 + 0.05 \cdot t_c) \quad (54)$$

In Tabelle 2 sind die berechneten Werte für η_i , P_i und P_e zusammengefaßt. Die berechnete effektive Wellenleistung P_e ist für $t_c = 40\text{ °C}$ und alle Verdampfungstemperaturen fast identisch mit den Herstellerangaben. Abweichungen im Bereich 0 – 4 % treten auf für $t_c = 30\text{ °C}$ und 50 °C und Verdampfungstemperaturen zwischen -20 °C und 0 °C . Verbesserungen sind möglich, wenn die Einflüsse von z.B. Schmieröltemperatur und Druckverhältnis auf den mechanischen Wirkungsgrad berücksichtigt werden. Im dargestellten Beispiel wurde der mechanische Wirkungsgrad zu $\eta_m = 0,95 = \text{const.}$ angenommen.

t_e	t_c	λ	η_i	w_i	P_i	P_e	Q_e
[°C]	[°C]	–	–	[kJ/kg]	[kW]	[kW]	[kW]
-30	30	0,7234	0,744	69,64	12,99	13,41	29,20
-25	30	0,7549	0,759	60,89	14,27	14,86	37,53
-20	30	0,7834	0,770	53,09	15,59	16,20	47,55
-15	30	0,8096	0,774	46,31	16,91	17,46	59,54
-10	30	0,8341	0,770	40,29	18,12	18,58	73,76
-5	30	0,8572	0,756	35,00	19,04	19,58	90,53
0	30	0,8792	0,730	30,27	19,48	20,38	110,20
5	30	0,9003	0,695	25,84	19,25	20,79	133,16
10	30	0,9207	0,654	21,44	18,13	20,49	159,81
-30	40	0,6811	0,723	82,01	14,72	14,47	24,56
-25	40	0,7146	0,741	72,21	16,20	16,52	32,35
-20	40	0,7448	0,755	63,60	17,74	18,51	41,76
-15	40	0,7722	0,767	55,94	19,33	20,36	52,98
-10	40	0,7976	0,773	49,12	20,93	22,05	66,24
-5	40	0,8213	0,773	43,09	22,47	23,58	81,79
0	40	0,8437	0,764	37,70	23,76	24,89	99,90
5	40	0,8650	0,746	32,95	24,63	26,02	120,91
10	40	0,8856	0,718	28,59	24,87	26,82	145,21
-30	50	0,6380	0,696	95,37	16,57	15,32	20,30
-25	50	0,6742	0,720	84,07	18,20	17,97	27,46
-20	50	0,7062	0,738	74,45	19,92	20,61	36,15
-15	50	0,7352	0,752	66,00	21,76	23,15	46,52
-10	50	0,7616	0,763	58,39	23,61	25,48	58,74
-5	50	0,7862	0,772	51,58	25,51	27,57	73,00
0	50	0,8091	0,774	45,55	27,38	29,46	89,52
5	50	0,8309	0,769	40,15	29,08	31,10	108,58
10	50	0,8517	0,757	35,39	30,45	32,55	130,54

Tabelle 2: Leistungsverhalten des ausgewählten Verdichters

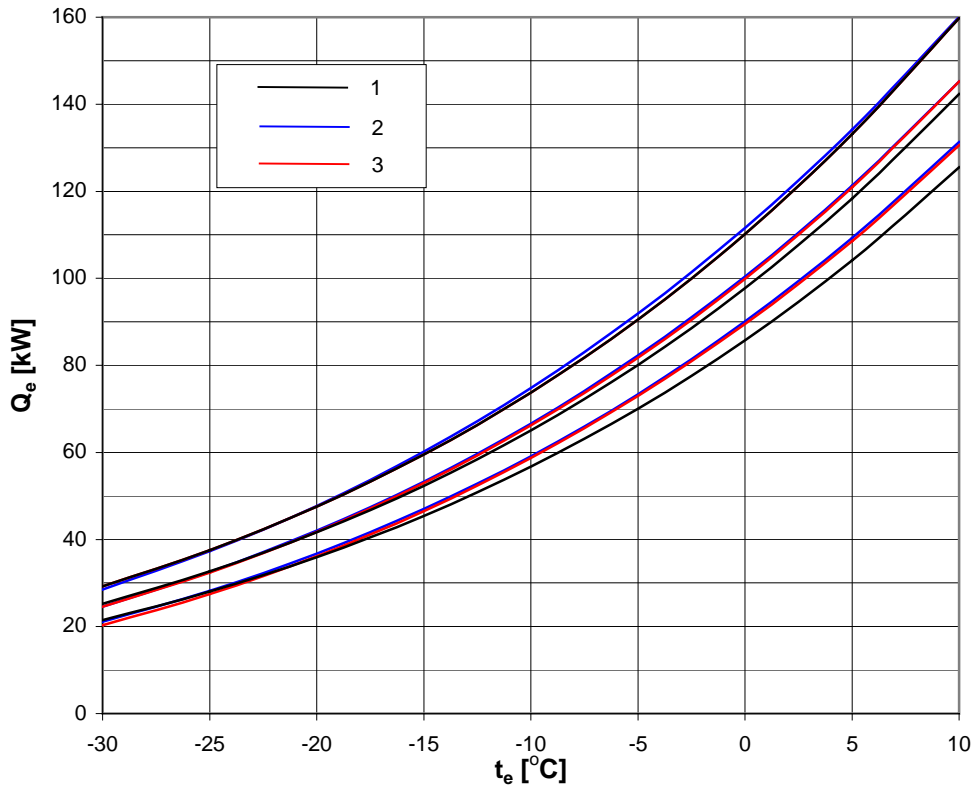


Bild 6: Leistungsverhalten des simulierten Verdichters
 1 – nach Gl. (42); 2 – reale Daten; 3 – mit Korrektur nach Gl. (54)

3.4. Leistungsverhalten eines Verflüssigungssatzes

Der Verflüssigungssatz ist ein aus Verdichter und Verflüssiger bestehendes Untersystem einer Kältemaschine, das häufig im Lieferprogramm von Verdichterherstellern zu finden ist. Beide Komponenten werden mit dem Ziel bestimmter Leistungen zusammengefügt, die von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur abhängen und in Tabellen oder Graphiken dargelegt sind.

Um die Leistung der Kombination aus Verdichter und Verflüssiger zu ermitteln, müssen die Leistungscharakteristiken beider Komponenten überlagert werden. Rechnerische Voraussetzung dafür ist, daß der Verdichter bei konstanter Drehzahl arbeitet und daß das Kühlwasser dem Verflüssiger bei gleichbleibender Eintrittstemperatur und konstantem Volumenstrom zugeführt wird. Im realen Betrieb wird dagegen die Kondensationstemperatur durch Veränderung der Kühlwassermenge geregelt.

Die Leistungen von Verdampfer und Verflüssiger zeigen folgende Abhängigkeiten:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_e(t_e, t_c)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_c(t_{w1}, t_c)$$

Eine Energiebilanz ergibt:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e + P_i \quad (55)$$

P_i ist dabei die indizierte Leistung.

Mit Gleichung (51) folgt:

$$P_i = \dot{Q}_e / \varepsilon_{KM} \quad (56)$$

Einsetzen von Gl. (56) in Gl. (55) ergibt:

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_e + \dot{Q}_e / \varepsilon_{KM} = \dot{Q}_e (1 + 1 / \varepsilon_{KM}) \quad (57)$$

und

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_C \frac{\varepsilon_{KM}}{\varepsilon_{KM} + 1} \quad (58)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_e(t_e, t_c, t_{w1}) \quad (59)$$

Es ist zu erkennen, daß die Leistungscharakteristiken von Verdampfer und Verflüssiger verknüpft sind.

3.5. Überlagerung an einem konkreten Beispiel

Betrachtet werden soll das Zusammenwirken des obenstehend simulierten Hubkolbenverdichters mit dem vorstehend beschriebenen wassergekühlten Rohrbündelverflüssiger [10]. Beide Komponenten sollen als Verflüssigungssatz mit folgendem Einsatzbereich simuliert werden:

Verdampfungstemperatur	t_e	=	0 ÷ 10 °C
Kondensationstemperatur	t_c	=	30 ÷ 42 °C
Kühlwassereintrittstemperatur	t_{w1}	=	20 ÷ 28 °C

Um die Temperatur t_2 des Kältemittels beim Eintritt in den Verflüssiger zu bestimmen, wird zunächst die Enthalpie beim Austritt aus dem Verdichter berechnet:

$$h_2 = h_1 + w_i \quad (60)$$

Durch Iteration von h_2 und p_2 (oder Ablesen im p,h-Diagramm) kann die gesuchte Temperatur t_2 gefunden werden. Damit kann der Wärmestrom \dot{Q}_C im Verflüssiger berechnet werden, der wiederum in Gl. (58) eingesetzt wird. Die Leistungszahl ε_{KM} wird von der Simulationsroutine für den Verdichter geliefert, mit der auch der Wert von w_i in Gl. (60) ermittelt wird.

Diese Berechnungen und Iterationen wurden für die oben genannten Kombinationen von t_e , t_c und t_{w1} durchgeführt. Im nächsten Schritt sollen die Kurvenzüge, die sich aus der berechneten Verflüssigerleistung ergeben, mit denen aus der Bestimmung des Leistungsverhaltens des Verdichters in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt werden.

In Bild 7 sind zunächst nur die Kurvenzüge für $t_{w1} = 26$ °C eingezeichnet, um die Darstellung übersichtlich zu halten. Ihre Schnittpunkte mit den korrespondierenden Linien für $t_c = \text{const.}$ sind die Basis für einen überlagernden Kurvenzug, der die Leistungscharakteristik des Verflüssigungssatzes bei $t_{w1} = 26$ °C darstellt.

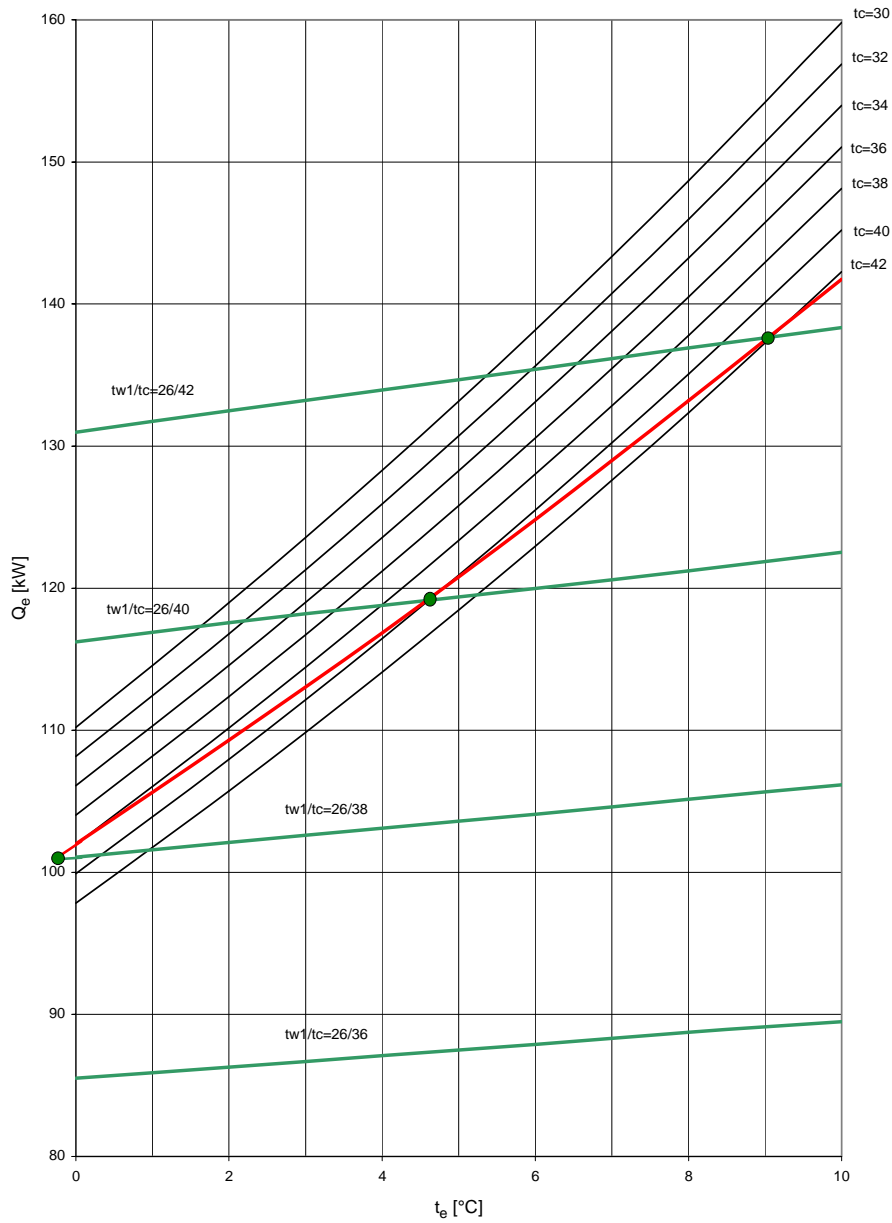


Bild 7: Überlagerung der Leistungscharakteristiken von Verdichter und Verflüssiger bei $t_{w1} = 26$ °C

Auch für die weiteren Kühlwassertemperaturen können die Leistungskurven des Verflüssigungssatzes gefunden werden. Sie sind in Bild 8 als Kurvenschar für die Werte von $t_{w1} = 20$ °C bis 28 °C dargestellt.

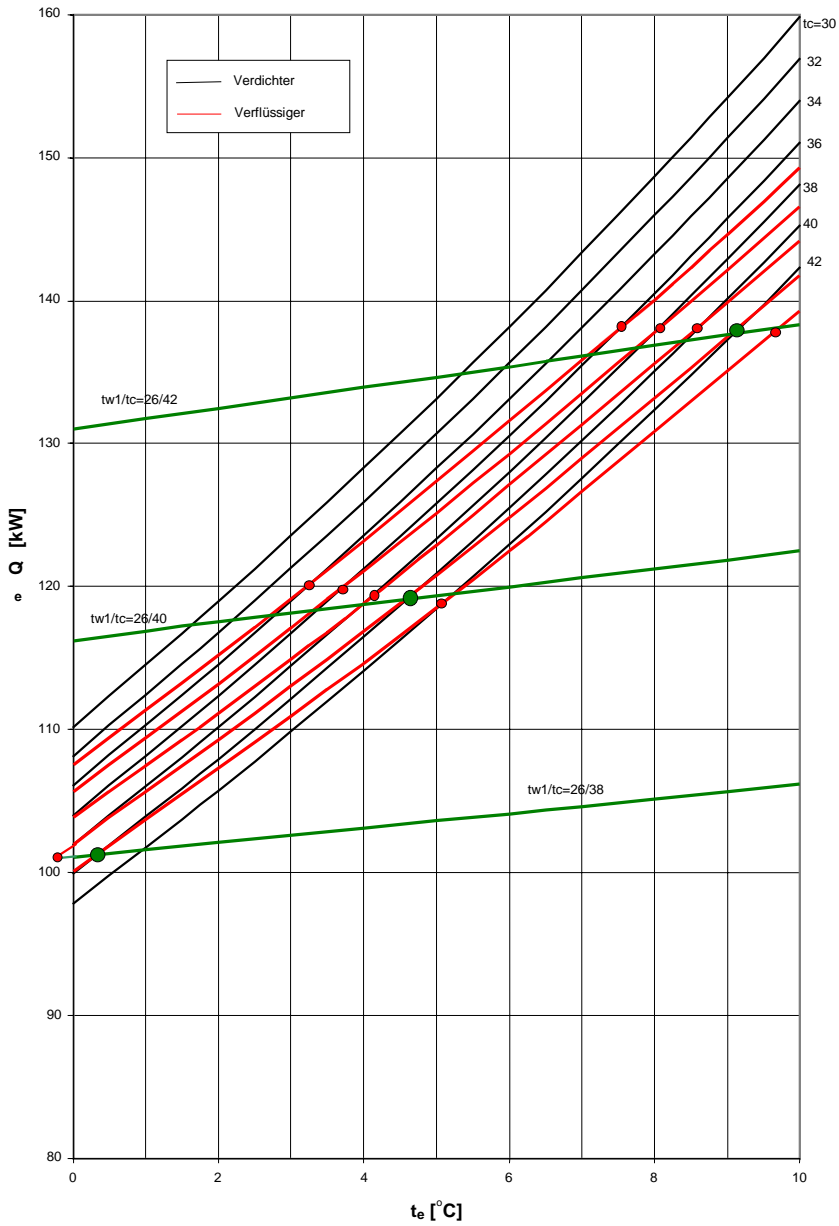


Bild 8: Leistungsverhalten des Verflüssigungssatzes

Auf den ersten Blick erscheint es paradox, daß die Kälteleistung des Verflüssigungssatzes bei höherer Kondensationstemperatur größer ist. Der Grund dafür ist jedoch die größere Temperaturdifferenz zwischen Kühlwasser und Kältemittel.

3.6. Zusammenfassung Kapitel 3

Zur Beschreibung des Leistungsverhaltens eines Hubkolbenverdichters wurde ein mathematisches Modell erstellt, welches in ein Computerprogramm einbezogen und anhand eines konkreten Beispiels überprüft wurde. Die Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse von den realen Meßdaten sind gering; Verfeinerungen des Modells sind z.B. beim mechanischen Wirkungsgrad vorstellbar. Mit dem Programm können z.B. verschiedene Geometrien, Kältemittel oder Überhitzungstemperaturen herstellerunabhängig verändert und simuliert werden.

Hier wurde das Programm genutzt, um die Leistungscharakteristiken eines ausgewählten Verdichters und des oben beschriebenen Rohrbündelverflüssigers [10] per Simulation zu überlagern. Mit diesem Verfahren wurde das Leistungsverhalten des aus beiden Komponenten bestehenden Verflüssigungssatzes bestimmt. Dabei wurden unterschiedliche Kombinationen aus Verdampfungs-, Verflüssigungs- und Kühlwassertemperatur betrachtet.

Die Kälteleistung eines Verflüssigungssatzes ist im realen Betrieb auch dem Einfluß des Verdampfers unterworfen. In einem weiteren Beitrag soll daher abschließend gezeigt werden, wie der Verdampfer einer Kälteanlage physikalisch beschrieben werden kann und damit die Leistungsparameter der gesamten Anlage durch Simulation vorhergesagt werden können.

4. Simulation von Rohrbündelverdampfern und gesamten Kälteanlagen

Der Verdampfer ist eine Hauptkomponente einer einstufigen Kaltdampf-Kältemaschine. Seine Leistungscharakteristik hat Einfluß auf die anderen Komponenten: Verdichter, Verflüssiger und Expansionseinrichtung. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen diesen Komponenten muß eine Kälteanlage immer in ihrer Gesamtheit betrachtet werden [1,2].

Im stationären Betrieb stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Komponenteneinflüssen ein - das System arbeitet am "balance point" [3]. Hier wird eine Methode vorgestellt, diesen Gleichgewichtspunkt für eine Kombination beliebiger Komponenten vorherzusagen. sie stellt die Ergänzung der ersten beiden Teile dieses Beitrags dar, in denen die Simulation eines Rohrbündelverflüssigers [10], eines Hubkolbenverdichters [20] und eine Überlagerung beider Komponenten zu einem Verflüssigungssatz erläutert wurde. Um den Gleichgewichtspunkt aller Komponenten festzustellen, ist es zunächst notwendig, ergänzend das Leistungsverhalten des Verdampfers physikalisch zu beschreiben. Danach kann eine Überlagerung der Modellierungen dieser drei Hauptkomponenten durchgeführt werden.

4.1. Mathematische Beschreibung von Rohrbündelverdampfern

Zunächst soll hier eine Methode zur Vorhersage des Leistungsverhaltens von Rohrbündelverdampfern erläutert und in einer mathematischen Simulation an einem Beispiel angewandt werden. Im betrachteten Verdampfer strömt das Kältemittel innen durch die Rohre und verdampft dabei. Das Sekundärmedium (hier Wasser) wird gekühlt während es über die Rohraußenseiten strömt und dabei i.a. mehrfach umgelenkt wird.

Das Kältemittel weist am Eintritt tiefe Temperatur, niedrigen Druck und geringen Dampfgehalt auf. Während der Wärmeaufnahme beim Verdampfungsdruck p_e und der Verdampfungstemperatur t_e gelangt es in den dampfförmigen Zustand. Kältemittelgemische weisen einen sog. Temperaturgleit während der Verdampfung auf. Das Temperaturprofil eines Verdampfungsprozesses ist in Bild 9 dargestellt, in dem L die Längenkoordinate des Verdampfers ist.

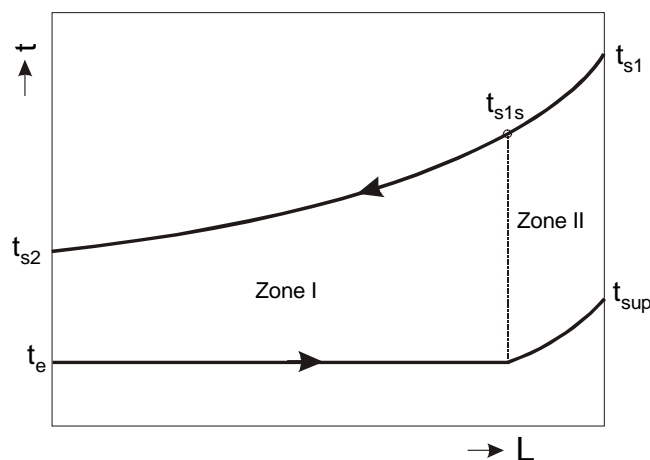


Bild 9: t,L-Diagramm des Verdampfungsvorgangs

Das Kältemittel verdampft bis zum Zustand trocken gesättigten Dampfes (Zone I) und verläßt den Verdampfer üblicherweise als überhitzter Dampf (Überhitzung in Zone II). In Trockenverdampfern beträgt die Überhitzung ca. 5 K; sie wird z.B. über ein thermostatisches Expansionsventil geregelt.

Die Verdampfung in Zone I dominiert den gesamten Prozeß. Sie wird daher häufig zur Abschätzung der Kälteleistung herangezogen, obwohl die beschreibenden Gleichungen für die Überhitzungszone unterschiedlich sind wie später gezeigt wird. Die allein durch Verdampfung bewirkte Abkühlung des gekühlten Fluids kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_s \cdot c_s \cdot (t_{s1} - t_{s2}) \quad (61)$$

$$\dot{Q}_e = k \cdot A \cdot \Delta t_m \quad (62)$$

mit der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{s1} - t_e) - (t_{s2} - t_e)}{\ln \frac{t_{s1} - t_e}{t_{s2} - t_e}} \quad (63)$$

$$\Delta t_m = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\ln \frac{t_{s1} - t_e}{t_{s2} - t_e}} \quad (64)$$

Durch Kombination [2] obenstehender Gleichungen folgt:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_s c_s (t_{s1} - t_e) \cdot \left[1 - \frac{1}{\exp(kA / \dot{m}_s c_s)} \right] \quad (65)$$

Diese Gleichung kann als Leistungscharakteristik des Verdampfers bezeichnet werden. Die Kälteleistung ist eine Funktion zweier unabhängiger Variablen, der Verdampfungstemperatur t_e und der Flüssigkeitseintrittstemperatur t_{s1} .

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_e(t_e, t_{s1}) \quad (66)$$

In dieser Gleichung sind mehrere abhängige Variable enthalten, die nicht einfach zu bestimmen sind, wie z.B. die Flüssigkeitsaustrittstemperatur t_{s2} , die Wärmeübergangskoeffizienten auf der Kältemittelseite (Verdampfung auf der Rohrrinnenseite) und der Flüssigkeitsseite, oder der Wärmedurchgangskoeffizient k . Einige Gleichungen sind zudem in impliziter Form gegeben.

Ein möglicher Lösungsweg ist, zunächst einen spezifischen Wärmestrom \dot{q} anzunehmen

$$\dot{q} = \dot{Q}_e / A \quad (67)$$

dann alle Wärmeübergangs- und hydraulischen Berechnungen durchzuführen und den angenommenen mit dem berechneten Wert zu vergleichen. Durch Iteration können beide Werte in Übereinstimmung gebracht werden. Alternativ kann nachstehende Gleichung verwendet werden:

$$\dot{q} = k \cdot \Delta t_m \quad (68)$$

In den Gleichungen (67) und (68) korrespondieren die Größen von \dot{q}_i und k_i mit der inneren A_i , sowie \dot{q}_e und k_e mit der äußeren Wärmeübertragerfläche A_e .

4.2. Simulation komplexer Wärmeübertragungsprozesse

Wie in Bild 9 gezeigt wird das Kältemittel zunächst verdampft und anschließend überhitzt. Die kältemittelseitigen Wärmeübergangskoeffizienten unterscheiden sich dabei deutlich, woraus auch unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten in den Zonen I und II folgen. Die Berechnung des Leistungsverhaltens erschwert sich dadurch, daß die Gleichungen 62, 65, 67 und 68 nicht auf den gesamten Verdampfer angewandt werden können. Zudem kann keine einheitliche mittlere Temperaturdifferenz über den gesamten Verdampfer definiert werden. Analog zur Vorgehensweise in [10] wird auch hier vorgeschlagen, den Verdampfer in zwei Wärmeübertrager zu trennen [21], einen für Zone I und einen für Zone II.

Der gesamte aufgenommene Wärmestrom setzt sich damit aus zwei Anteilen zusammen:

\dot{Q}_{e1} - Verdampfungswärme (latent) und

\dot{Q}_{e2} - Überhitzungswärme

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_{e1} + \dot{Q}_{e2} \quad (69)$$

Die äußeren Wärmeübertragerflächen sind:

$$A_e = A_{e1} + A_{e2} \quad (70)$$

Nun wird eine bezogene Wärmestromdichte $\dot{q}_{e,tr}$ für den gesamten Verdampfer eingeführt. Unter Annahme eines bestimmten $\dot{q}_{e,tr}$ kann die gesamte Verdampferleistung berechnet werden:

$$\dot{Q}_e = A_e \cdot \dot{q}_{e,tr} \quad (71)$$

Analog zu Gleichung (69) ist die abgegebene spezifische Wärme:

$$q_e = q_1 + q_2 \quad (72)$$

q_1 kann aus der Dampftafel des Kältemittels entnommen werden.

q_2 kann ebenfalls als Enthalpiedifferenz abgelesen oder wie folgt abgeschätzt werden:

$$q_2 = c_{sup} \cdot (t_{sup} - t_e) \quad (73)$$

Bei der Berechnung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen ist der Temperaturverlauf gemäß Bild 1 zugrunde zu legen. Es ist zu erkennen, daß diese für beide Zonen getrennt bestimmt werden sollten, wenn mit verbesserter Genauigkeit gerechnet werden soll. Im folgenden ist die Flüssigkeitseintrittstemperatur in Zone II mit t_{s1s} angenommen. Damit ergeben sich die beiden mittleren logarithmischen Temperaturdifferenzen:

Zone I

$$\Delta t_{m1} = \frac{t_{s1s} - t_{s2}}{\ln \frac{t_{s1s} - t_e}{t_{s2} - t_e}} \quad (74)$$

Zone II

$$\Delta t_{m2} = \frac{(t_{s1} - t_{sup}) - (t_{s1s} - t_e)}{\ln \frac{t_{s1} - t_{sup}}{t_{s1s} - t_e}} \quad (75)$$

Weitere Gleichungen, die zur Berechnung von Wärmeübertragung und Druckverlust herangezogen wurden, sind im Anhang enthalten. Der Rechengang der Simulation ist komplex und nur iterativ zu lösen [22]. Es wurde daher ein Rechenprogramm [7] erstellt, welches u.a. Polynome zur Berechnung der Zustandsgrößen vielfältiger Kältemittel [8,21] und Wasser als Kälte-träger enthält. Auch die Unterscheidung von Glatt- und Rippenrohren ist möglich.

4.3. Darstellung des Leistungsverhaltens an einem konkreten Beispiel

Eingabedaten

$\dot{m}_s = 5,725 \text{ kg/s}$	Massenstrom Wasser
$D = 300 \text{ mm}$	innerer Manteldurchmesser
$L = 2,70 \text{ m}$	aktive Rohrlänge
$b = 169 \text{ mm}$	Abstand Leitbleche
$n_p = 2$	Anzahl der Pässe (Kältemittel)
$n_r = 136$	Anzahl der Rohre
$d_e = 16,0 \text{ mm}$	äußerer Rohrdurchmesser
$d_i = 14,0 \text{ mm}$	innerer Rohrdurchmesser
$s = 21,0 \text{ mm}$ (Kupferrohre, Wärmeleitfähigkeit 370 W/mK)	Rohrabstand
$R_o = 0,00005 \text{ m}^2\text{K/W}$	Verschmutzungsfaktor, Rohraußenseite
$R_i = 0,0 \text{ m}^2\text{K/W}$	Verschmutzungsfaktor, Rohrinne-seite
$t_c = 38 \text{ }^\circ\text{C}$	Kondensations- bzw. Unterkühlungstemperatur
$\Delta t_{sup} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Überhitzung
R22	Kältemittel
Wasser	Gekühlte Flüssigkeit

Ergebnisse

t_e	t_{s1}	t_{s2}	k_e	α_R	α_s	\dot{Q}_e
[°C]	[°C]	[°C]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[kW]
0,0	10,0	5,9	810,6	1129,5	5920,8	98,0
2,0	10,0	7,5	601,4	792,4	5967,0	59,1
4,0	10,0	9,0	355,6	440,8	6006,6	24,4
0,0	12,0	6,1	1005,2	1475,8	5969,4	140,8
2,0	12,0	7,9	827,0	1154,3	6020,2	99,4
4,0	12,0	9,5	615,0	811,5	6067,1	60,1
6,0	12,0	11,0	365,8	454,0	6107,3	25,0
0,0	14,0	6,3	1176,0	1810,6	6014,5	185,2
2,0	14,0	8,1	1023,3	1504,6	6068,4	142,5
4,0	14,0	9,8	843,0	1178,2	6119,8	100,8
6,0	14,0	11,4	628,7	830,9	6167,1	61,1
8,0	14,0	12,9	376,1	467,5	6207,8	25,6
0,0	16,0	6,4	1327,2	2134,4	6056,9	230,6
2,0	16,0	8,2	1195,2	1842,7	6113,0	187,1
4,0	16,0	10,0	1040,9	1532,7	6167,4	144,1
6,0	16,0	11,7	859,0	1202,5	6219,1	102,1
8,0	16,0	13,4	642,7	850,6	6266,7	62,2
10,0	16,0	14,9	386,8	481,5	6307,9	26,1

Tabelle 3: Leistungsverhalten des betrachteten Verdampfers

Der kältemittelseitige Wärmeübergangskoeffizient α_R und der Wärmedurchgangskoeffizient k_e in Tabelle 3 sind für Zone I angegeben, da der Verdampfungsvorgang dominierend ist.

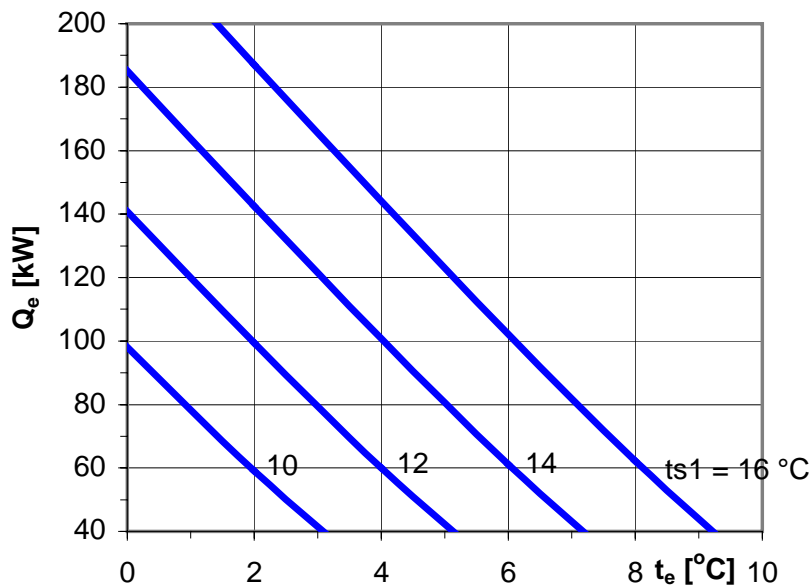


Bild 10: Graphische Darstellung des Leistungsverhaltens (t_{s1} – Wassereintrittstemperatur)

Bei gleichbleibender Wassereintrittstemperatur t_{s1} steigt die Verdampferleistung mit fallender Verdampfungs-temperatur t_e aufgrund des zunehmenden Temperaturunterschiedes Δt_m zwischen Kältemittel und Flüssigkeit (Gl. 62 u. 63). In der Praxis wird jedoch auf eine möglichst hohe, der Anwendung entsprechende Verdampfungs-temperatur Wert gelegt, um eine geringe Verdichterantriebsleistung zu erzielen.

In Bild 10 ist zu sehen, daß die Abhängigkeit der Verdampferleistung \dot{Q}_e von der Verdampfungs-temperatur t_e bei konstantem Wert von t_{s1} annähernd linear ist. Grund dafür ist, daß der rechte Klammerausdruck in Gl. 65 eine annähernd lineare Funktion ist, und zudem die linke Seite ($t_{s1} - t_e$) gleichlaufend abnimmt. (Gleichung 65 beschreibt den dominierenden Verdampfungs-schritt.)

Während der Überhitzung ist der Wärmeübergang deutlich schlechter. Der Wärmedurchgangskoeffizient beträgt hier 80 bis 140 W/m²K entsprechend Dampfgeschwindigkeiten von 2 bis 4 m/s bei Annahme einer Überhitzung von 5 °C. Während der Verdampfung beträgt der Wärmedurchgangskoeffizient 350 bis 1350 W/m²K, wobei die größeren Werte für höhere Temperaturunterschiede zwischen Kältemittel und gekühlter Flüssigkeit vorliegen.

In Tabelle 3 ist zu sehen, daß die Wärmeübergangskoeffizienten auf der Flüssigkeitsseite größer sind als auf der Kältemittelseite. Grund dafür ist die hier einbezogene Modellierung eines berippten Rohres, die durch das Rechenprogramm ermöglicht wird. Auch verschiedene Konstruktionsvarianten oder der Einfluß zunehmender Verschmutzung können betrachtet werden.

4.4. Betrachtung der gesamten Kälteanlage

In [20] ist die Kombination eines Rohrbündelverflüssigers mit einem Hubkolbenverdichter zu einem Verflüssigungssatz beschrieben. Um das Leistungsverhalten einer vollständigen Kälteanlage simulieren zu können, verbleibt noch die Hinzufügung der Charakteristik des Verdampfers. Es kann angenommen werden, daß das Drosselorgan allen Änderungen der anderen Komponenten folgt.

In Bild 11 sind die Leistungscharakteristiken des Verflüssigungssatzes (Beispiel aus [20]) und des Verdampfers (Bild 10) überlagert. Gleichgewichte ("balance points") ergeben sich für alle Schnittpunkte der Kurven $t_{w1} = \text{const.}$ (Verflüssigungssatz) mit den Kurven $t_{s1} = \text{const.}$ (Verdampfer).

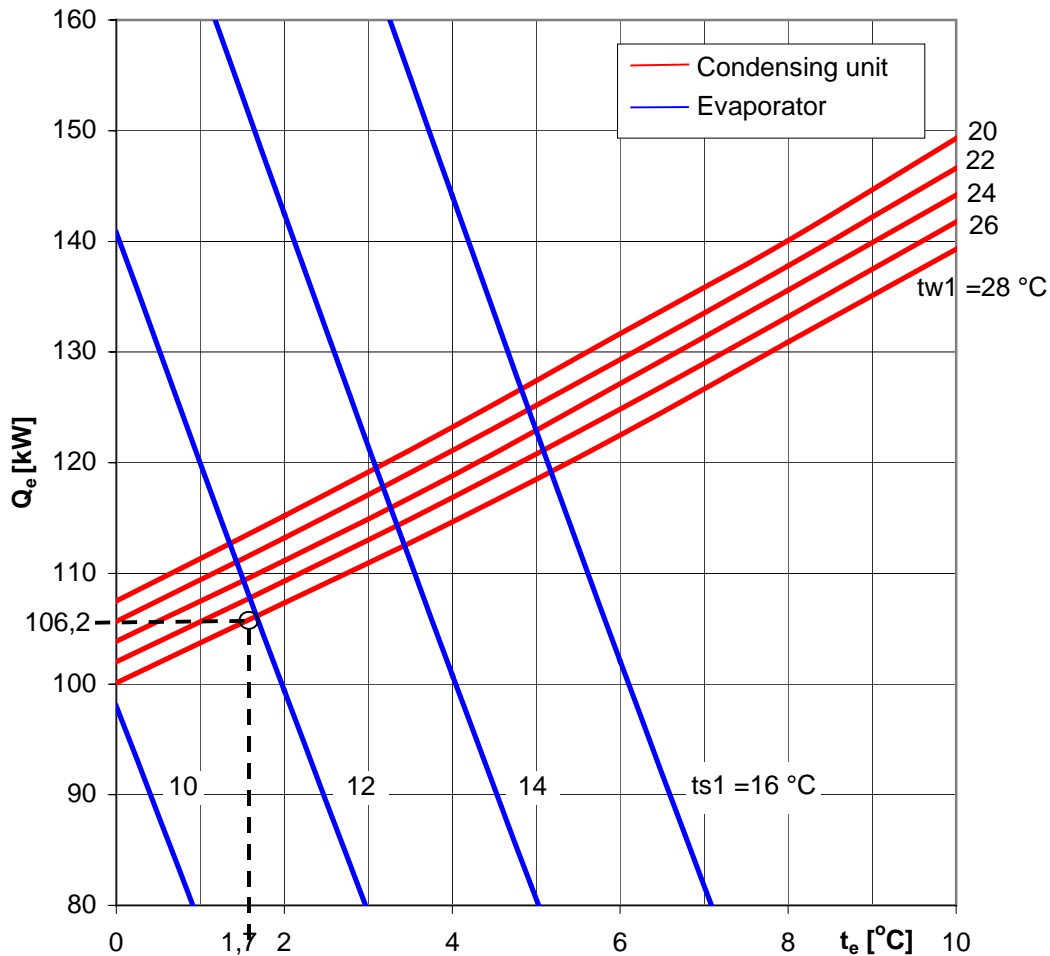


Bild 11: Bestimmung des Leistungsverhaltens der Kälteanlage durch Überlagerung der Ergebnisse für Verdampfer und Verflüssigungssatz [21]

Als Beispiel ist der Gleichgewichtspunkt eingetragen, der sich für eine Eintrittstemperatur des gekühlten Mediums von $t_{s1} = 12$ °C und eine Kühlwassereintrittstemperatur in den Verflüssiger von $t_{w1} = 28$ °C ergibt. Abzulesen ist eine Verdampfer- bzw. Kälteleistung von $\dot{Q}_e = 106,2$ kW bei einer Verdampfungstemperatur von $t_e = 1,7$ °C.

Darüberhinaus ist es möglich, mit den Resultaten der Computersimulation die weiteren Parameter in diesem Gleichgewichtspunkt zu finden. Sie betragen z.B.:

Kondensationstemperatur	$t_c = 40,3$ °C
Austrittstemp. gekühlte Flüssigkeit	$t_{s2} = 7,6$ °C
Kühlwasseraustrittstemperatur	$t_{w2} = 33,6$ °C
Verdichterantriebsleistung	$P_e = 25,5$ kW
Indizierter Verdichterwirkungsgrad	$\eta_i = 0,758$
Liefergrad des Verdichters	$\lambda = 0,85$
Wärmedurchgangskoeffizient Verflüssiger	$k_e = 1029$ W/m ² K
Wärmedurchgangskoeffizient Verdampfer	$k_e = 860$ W/m ² K
usf.	

Es ist offensichtlich, daß die Änderung eines einzelnen Parameters auch die Betriebsbedingungen der anderen Komponenten beeinflusst. So kann zum Beispiel in Bild 11 ebenfalls abgelesen werden, daß eine Kälteleistung von z.B. 120 kW unter den gegebenen Kühlwassertemperaturen nicht erzielt werden kann, wenn die Eintrittstemperatur des zu kühlenden Mediums unter 14 °C fällt.

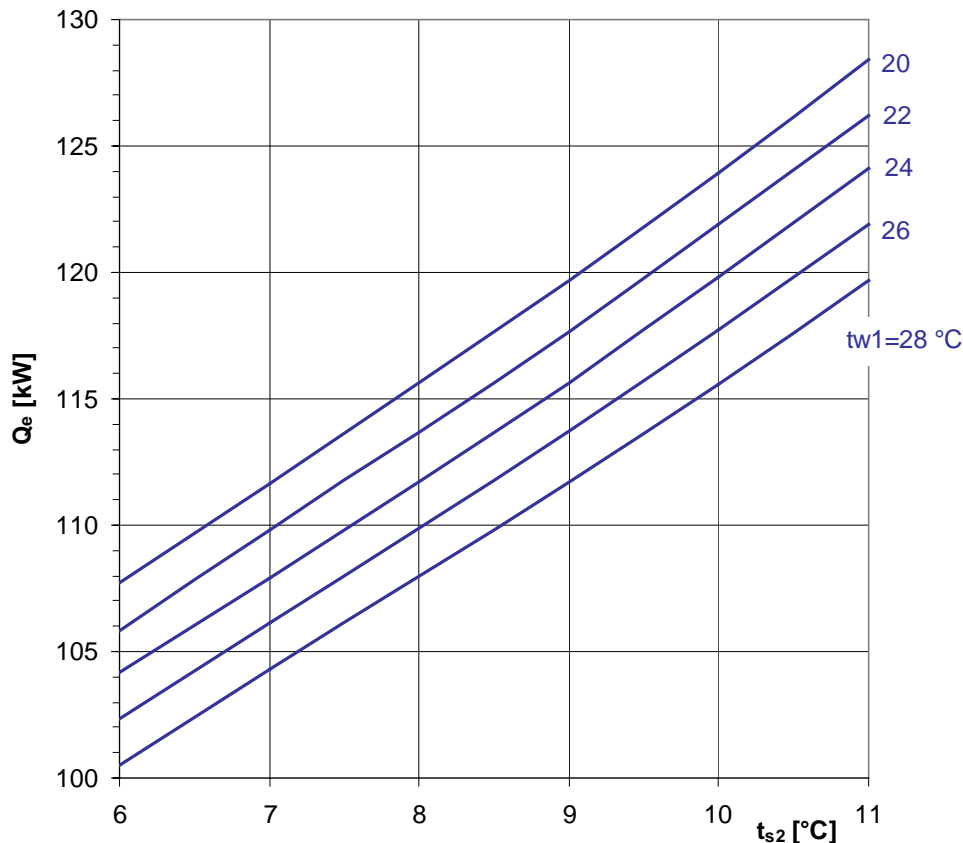


Bild 12: Leistungsverhalten einer Kälteanlage in Abhängigkeit der Austrittstemperatur des gekühlten Mediums und der Kühlwassereintrittstemperatur

Wenn ein Anwender eine vollständige Kälteanlage (z.B. einen Kaltwassersatz) auswählt, ist er an den oben aufgeführten detaillierten Parametern i.a. nicht interessiert. Vielmehr möchte er wissen, welche Kälteleistung bei vorgegebener Austrittstemperatur des zu kühlenden Mediums und vorgegebener Kühlwassereintrittstemperatur zu erwarten ist. Ergänzend interessiert er sich für die Verdichterantriebsleistung. Durch Überlagerung der simulierten Leistungscharakteristiken ist in Bild 12 beispielhaft die Verknüpfung der drei erstgenannten Größen gezeigt.

Die Massenströme des gekühlten Mediums (im Verdampfer) und des Kühlwassers (im Kondensator) sind im Beispiel in Bild 12 konstant gehalten worden. Änderungen eines der beiden Massenströme beeinflussen das Leistungsverhalten des Gesamtsystems. Strömungsdruckverluste in den Rohren und Wärmeeintrag aus der Umgebung sind hier noch nicht berücksichtigt; ihr Einbezug verbessert die Genauigkeit der Simulation.

In diesem Beispiel sollte zunächst grundlegend gezeigt werden, daß mit Hilfe des erstellten Rechenmodells und Simulationsprogramms eine vernünftige Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten einer Kälteanlage möglich ist und der Betriebs- oder Gleichgewichtspunkt des Gesamtsystems bestimmt werden kann. Die Überlagerung ist hier zeichnerisch geschehen; die nächste Erweiterung des Simulationsprogramms wird eine Option zur Überlagerung während der Berechnungen beinhalten.

5. Fazit

Es wurde zunächst gezeigt wie die Vorhersage des Leistungsverhaltens eines Rohrbündelverdampfers mit Hilfe eines Simulationsmodells möglich ist. Die komplexe Aufgabenstellung der kombinierten Verdampfung und Überhitzung wurde mit einem eigenen Ansatz und darauf aufbauendem Rechenprogramm gelöst. Dieses kann u.a. dazu genutzt werden, die Einflüsse veränderlicher konstruktiver Parameter, Temperaturen, Durchflußmengen oder Verschmutzungen vorherzubestimmen.

Anhand eines konkreten Beispiels wurde gezeigt, daß sich die Kälteleistung in Abhängigkeit von der Verdampfungs- und der Eintrittstemperatur des gekühlten Mediums durch eine Schar annähernd linearer Kurven darstellen läßt.

Die graphische Überlagerung der Leistungscharakteristiken von Verdichter, Verflüssiger und Verdampfer zeigte die Wechselwirkungen zwischen diesen Komponenten auf [21]. Dabei war auch erkennbar, daß eine Änderung eines Konstruktions- oder Betriebsparameters Auswirkungen auf alle Komponenten, d.h. das Gesamtsystem hat. Die gefundenen Schnittpunkte der Leistungscharakteristiken stellen Gleichgewichtspunkte im stationären Zustand dar.

Im gewählten Beispiel ist die Vorgehensweise anhand von Rohrbündelapparaten erläutert worden. Mit derselben Strategie können auch die im Programmpaket [7] enthaltenen luftgekühlten Wärmeübertrager betrachtet werden. Das Programmpaket bietet sich die Möglichkeit, das Leistungsverhalten von Komponenten, Verflüssigungssätzen oder Kälteanlagen vorherzubestimmen oder bestehende Anlagen unter veränderten Randbedingungen zu simulieren. Ebenso sind Optimierungen der Komponentenzusammenstellung oder konstruktiver Details möglich [14].

6. Anhang: Wärmeübergangsgleichungen in Rohrbündelverdampfern

Auf die äußere Wärmeübertragerfläche bezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + R_o + R_t \frac{d_e}{d_m} + \left(R_i + \frac{1}{\alpha_R} \right) \frac{A_e}{A_i}} \quad (76)$$

Wärmeübergangskoeffizient im Mantelraum; zu kühlende Flüssigkeit quer zu den Rohren [22]:

$$\text{Für } 100 < Re < 1000: \quad Nu = 0,71 \cdot f_r \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \quad (77)$$

$$\text{Für } 1000 < Re < 2 \cdot 10^6 \quad Nu = 0,36 \cdot f_r \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \quad (78)$$

f_r ist ein Korrekturfaktor, der von der Anzahl der horizontalen Rohrreihen abhängt.

Kältemittelseitiger Wärmeübergangskoeffizient (Verdampfung in den Rohren [9]):

$$\alpha_R = C \frac{G^{0,1} \cdot q_i^{0,7}}{d_i^{0,5}} \quad (79)$$

C enthält thermophysikalische Eigenschaften des Kältemittels:

$$C = \frac{2,059 \cdot \lambda_v^{0,6} \cdot (\Delta h \cdot \rho_v)^{0,133}}{g^{0,2} \cdot T_e^{0,4} \cdot \tau^{0,3} \cdot f^{0,266} \cdot d_o^{0,399} \cdot \rho_l^{0,233}} \left[\frac{W^{0,3} m^{0,1} s^{0,1}}{kg^{0,1} K} \right] \quad (80)$$

In Zone II strömt der Kältemitteldampf durch die Rohre. Die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten für diesen Fall ist in [8] beschrieben. Die hier verwendeten empirischen Gleichungen können im Simulationsprogramm erweitert, modifiziert oder ausgetauscht werden, wenn auf der Basis anderer Quellen gerechnet oder speziellen Konstruktionen Rechnung getragen werden soll.

7. Literatur

- [1] Fearon, J.: Vapour Compression Systems - Their Complexities, Control and Equilibrium, *Refrigeration and Air Conditioning*, (12) 1980, S. 28 - 34
- [2] Rozenfeld, L., Vorobej, I.: Equilibrium Characteristics of Refrigerating Machines, *Holodilnaja tehnika*, (1) 1972, S. 39 - 43
- [3] ASHRAE Handbook – Refrigeration, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2002
- [4] Gulich J.: Computer Programme for Heat Exchanger Calculations, *Sulzer Technical Review*, (2) 1972
- [5] Ciconkov, R.: Kältetechnik – Gelöste Beispiele, *University "Sv. Kiril and Metodij", Faculty of Mech. Eng., Skopje*, 2002
- [6] Heinrich G., Krug W.: Modellierung luft- und kältetechnischer Prozesse, *VEB Verlag Technik*, Berlin, 1978
- [7] Ciconkov, R.: Refrigeration Software, *University "Sv. Kiril and Metodij", Faculty of Mech. Eng., Skopje*, 1978-2004, <http://www.unet.com.mk/refrigeration>
- [8] ASHRAE Handbook – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2001
- [9] Slipcevic, B.: Wärmetauscher (Mit Beispielen aus der Kältetechnik), *SMEITS*, Belgrade, 1989 (Auf Serbo-Kroatisch)
- [10] Ciconkov, R., Hilligweg, A.: Rohrbündelverflüssiger – Simulation des Leistungsverhaltens, *KI Luft- und Kältetechnik* 39 (2003) 2, S. 55 - 59, ISSN 0945-0459
- [11] Bikov, A.: Refrigerating Compressors, *Legkaja i Pishtevaja Promishlenost*, Moscow, 1981
- [12] Frenkel, M.: Piston Compressors, *Masinstroenie*, Leningrad, 1969
- [13] Ciconkov, R.: Kältetechnik – Gelöste Beispiele, *Universität "Sv. Kiril and Metodij", Faculty of Mech. Eng., Skopje*, 2002
- [14] Ciconkov, R.: Optimization of Refrigerating Machines, Doctoral dissertation, University "Sv. Kiril and Metodij", Faculty of Mech. Eng., Skopje, 1986
- [15] Ciconkov, R.: Refrigeration Software, University "Sv. Kiril and Metodij", Faculty of Mech. Eng., Skopje, 1978-2004, <http://www.unet.com.mk/refrigeration>
- [16] Chan, C., Haselden, G., Computer-based Refrigerant Thermodynamic Properties, Parts 1, 2 and 3, *International Journal of Refrigeration*, No. 1, 2 and 3, 1981
- [17] ASHRAE Handbook – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2001
- [18] ICI: Technische Dokumentation Kältemittel
- [19] BITZER: Produktkataloge und Auslegungsoftware
- [20] Ciconkov, R., Hilligweg, A.: Kolbenverdichter – Simulation des Leistungsverhaltens beim Einsatz in einem Verflüssigungssatz, *KI Luft- und Kältetechnik* 39 (2003) 3, S. 125 – 130, ISSN 0945-0459
- [21] Ciconkov, R., Hilligweg, A.: Simulation des Leistungsverhaltens von Rohrbündelverdampfern und gesamten Kälteanlagen, *KI Luft- und Kältetechnik* 39 (2003) 4, S. 161 – 165, ISSN 0945-0459
- [22] Danilova, G., et. al.: Heat Exchangers in Refrigeration Plants, *Machinstroenie*, Leningrad (1986)

8. Nomenklatur

Formelzeichen

A	Fläche	[m ²]
b	(Schicht)dicke, Abstand	[mm]
c	Wärmekapazität	[kJ/(kgK)]
c	Schadraumanteil	
C	Koeffizient	
D, d	Durchmesser, Bohrung	[m]
d _o	Blasendurchmesser	[m]
f	Frequenz der Blasenbildung	
f	Mittlere vertikale Rohranzahl	
f	Korrekturfaktor	
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
G	flächenbez. Massenstrom	[kg/(m ² s)]
h	Spezifische Enthalpie	[kJ/kg]
i	Anzahl der Zylinder	
k	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m ² K)]
L, l	Länge	[m]
\dot{m}	Massenstrom	[kg/s]
n	Polytrophenexponent	
n	Drehzahl	[s ⁻¹]
Nu	Nusselt-Zahl	
p	Druck	[bar]
P	Leistung	[kW]
Pr	Prandtl-Zahl	
\dot{Q}	Wärmestrom	[W]
q	spezifische Wärme	[kJ/kg]
q	spezifischer Wärmestrom	[W/m ²]
q _v	volumetrische Kälteleistung	[kJ/m ³]
R	Verschmutzungsfaktor	[m ² K/W]
Re	Reynolds-Zahl	
s	Hub	[m]
T	absolute Temperatur	[K]
t	Celsius-Temperatur	[°C]
V	Volumen	[m ³]
\dot{V}	Volumenstrom	[m ³ /s]
v	spezifisches Volumen	[m ³ /kg]
w	Geschwindigkeit	[m/s]
w	spezifische Arbeit	[kJ/kg]
α	Wärmeübergangskoeffizient	[W/(m ² K)]
Δ	Unterschied	
Δt	Temperaturunterschied	[°C]
ε_{KM}	Leistungszahl der Kältemaschine	
η	Dynamische Viskosität	[Pa·s]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/(mK)]
λ	Liefergrad	
ν	Kinematische Viskosität	[m ² /s]
Π	Verdichtungsverhältnis	
ρ	Dichte	[kg/m ³]
ψ_c	Korrekturfaktor für Kondensation auf berippten Oberflächen	
ψ_w	Korrekturfaktor für den Einfluß der Dampfgeschwindigkeit	
τ	Oberflächenspannung	[N/m]

Indices

1	Eintritt, Saugseite
2	Austritt, Druckseite
c	kondensierend
e	extern (außen), verdampfend, effektiv
i	intern (innen), Eingang, indiziert
is	isentrop
lat	latent
m	mittel, mechanisch
o	Ausgang
R	Kältemittel
s	Sekundärmedium, zu kühlende Flüssigkeit
sup	überhitzt
t	Rohr
w	Wasser
z	Rohrwand

