



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)



XD9700124

*156p.  
Tables  
Trasics  
Diagram*

21568



**Analysis, comparison and optimization  
of metal foundries  
with the software package AUDIT**

Status Report  
Graz, April 12, 1996

2

*Remark: This summary contains only 6 chapters of the whole document.*

# Contents

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 WHAT IS AUDIT?</b>                                | <b>1</b>  |
| 1.1 GENERAL  | 2         |
| <b>2 BRIEF SUMMARY</b>                                 | <b>3</b>  |
| 2.1 ORDER  | 4         |
| 2.2 TARGET   | 4         |
| 2.2.1 A Concrete Example                               | 4         |
| 2.3 STRUCTURE  | 8         |
| 2.3.1 Basics   | 8         |
| 2.3.2 Different Types                                  | 8         |
| <b>3 SHAPING BY CASTING</b>                            | <b>10</b> |
| 3.1 GENERAL  | 11        |
| 3.2 PROCEDURE OF SHAPING AND CASTING TECHNIQUE         | 12        |
| 3.2.1 Technique of dead mould casting                  | 12        |
| 3.2.2 Hand moulding                                    | 13        |
| 3.2.3 Machine moulding                                 | 13        |
| 3.2.4 Permanent-mould casting                          | 14        |
| 3.3 PROCEDURES FOR PREPARATION AND FURTHER TREATMENT   | 16        |
| 3.3.1 Melting of material for casting                  | 16        |
| 3.3.2 Cleaning of castings                             | 16        |
| 3.3.3 Thermal treatment                                | 16        |
| 3.3.4 Checking and testing methods                     | 16        |
| <b>4 EMISSIONS AND ENERGY CONSUMPTION IN FOUNDRIES</b> | <b>17</b> |
| 4.1 WASTE AIR EMISSIONS                                | 18        |
| 4.1.1 Emission sources                                 | 18        |
| 4.1.2 Emission limits                                  | 23        |
| 4.2 WASTE WATER  | 24        |
| 4.3 WASTE  | 25        |
| 4.4 ENERGY CONSUMPTION                                 | 25        |
| <b>5 ENVIRONMENTAL PERTINENCE</b>                      | <b>28</b> |
| 5.1 MATERIALS USED                                     | 29        |
| 5.2 WASTE AIR EMISSIONS                                | 31        |
| 5.3 WASTE WATER EMISSIONS                              | 34        |
| 5.4 WASTE  | 35        |
| <b>6 LITERATURE</b>                                    | <b>36</b> |

# 1 WHAT IS AUDIT?

---

## 1.1 General

AUDIT is an environment management and controlling system, supported by EDP and operating on Windows which serves to give the manager an overview of the development of the enterprise with respect to the utilization of material and energy, the environment costs, and the environmental performances. Processes become transparent and weak points are revealed.

AUDIT also offers the possibility to compare different development scenarios and thus find the respective optimal technical and managerial economics.

AUDIT consists of the program parts:

- AUDIT: with the essential components editor, balance, costs (Audit - flow chart see Fig. 2.1, page 5)
- AUDIT-Chart: for tabulated and graphical data output (see fig. 2.4, page 7)
- AUDIT-Sankey: for a Sankey representation of the data (see Fig. 2.2, page 5)

### ***Company benefits***

- graphical preparation of data*
- visualization of material and energy flow*
- representation of the economical/ecological situation*
- disclosure of weak points/rationalization of operational potentials*
- dynamic simulation and judgement of process improvements (environmental measures)*
- monetary assessment of material and plants  $\Rightarrow$  investment decisions*
- tool for company audit regarding EU-regulation*

### ***Application areas***

- industry and trade (overlapping branches of industry)*
- disposal corporation*
- supply corporation*
- advising corporation*
- authority*
- local establishments*
- universities*

## 2 BRIEF SUMMARY

---

## 2.1 Order

An order for the study was placed in October 1995 by UNIDO, department for Engineering and Metallurgical Industries Branch.

## 2.2 Target

The target of the work is the analysis, comparison and optimization of metal foundries (obsolete technology – Western technological development) with the software package AUDIT with respect to economic as well as ecological factors.

The voluminous operational data of foundries is registered and processed with the program – by preparing a complete material balance over the entire operation. With this material balance the correctness of the ascertained data is verified.

Operational data may be material as well as monetary data.

Via the program tools **AUDIT-SANKEY** (see fig. 2.2, page 5) and **AUDIT-CHART** (see fig. 2.4, page 7) this data may be prepared in a manifold graphical and tabular form. On the basis of these evaluations the user should be able to compare different operations and to localize optimal potentials.

One big advantage of the system is the fact that the input and output side of production as well as the entire cross-linked (e.g. by recycle streams) operational structure is high-lighted. Through this approach, parameters (e.g. emissions, energy consumptions) when isolated, may very well be evaluated in a positive way, reveal a new side. Thus, improvement potentials are discovered which otherwise may be overlooked.

### **2.2.1 A Concrete Example**

As a reference operation, a modern roller foundry (see chapter 7, page 38) of Western standards was selected, and will serve as a comparison as soon as the data from foundries with obsolete technology is available. Fig. 2.1, page 5 demonstrates the schematic representation of the production process: the AUDIT–flow chart. In fig. 2.2 the Sankey representation where the width of the material flow in the diagram is proportional to the material.

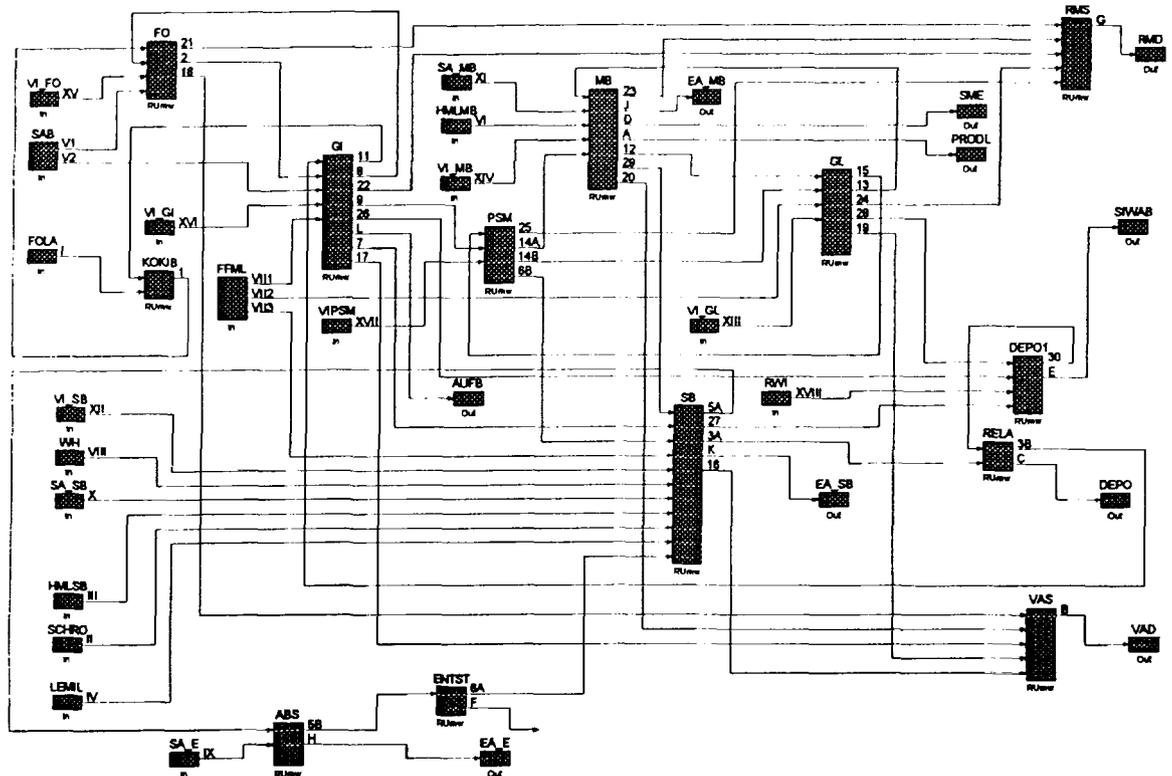


Fig. 2.1 AUDIT-flow chart of a roller foundry

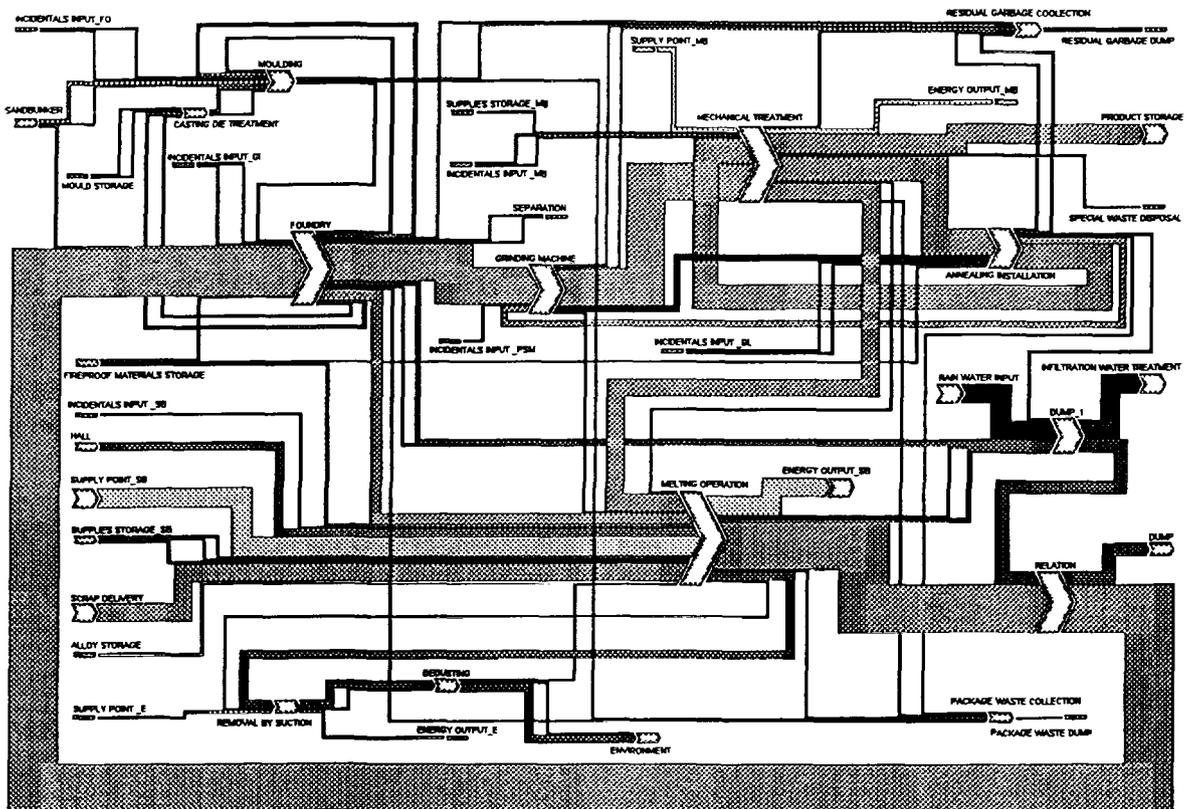


Fig. 2.2 Sankey representation of a foundry

The plant is equipped with a modern bag filter system for cleaning waste air. Thus it is possible to reduce the dust content of the entire exhausted hall air from 274.24mg/m<sup>3</sup> to approximately 1.5mg/m<sup>3</sup>. This corresponds to a degree of dust extraction of approximately 99.5%. By the additional recycling of the deposited dust into the melting system (see Fig. 2.3) the optimal potential for the dedusting part in the installation area may be realized.

Table 2.2.1 Characteristic values with respect to waste air

| Characteristic value (material) | Value   | Unit                         | Note (current)  |
|---------------------------------|---------|------------------------------|---|
| Dust content before             | 274.24  | mg/m <sup>3</sup> air        | dust content of exhausted air                         |
| Dust content after              | 1.52    | mg/m <sup>3</sup> air        | dust content of air being released to the environment |
| Energy application              | 773.891 | kWh/mill. m <sup>3</sup> air | exhaustion in the plant                               |
| Energy costs                    | 623     | ATS/mill. m <sup>3</sup> air | exhaustion in the plant                               |

The facts are different in the melting operation with regard to the energy situation and as a further consequence also for the emissions. In particular, the energy consumption in arc furnaces with 801.25kWh<sub>e</sub>/t molten mass can be evaluated quite positively compared to other foundries of Western standards. The question that arises is how much metal is molten and what amount of it will actually reach the product. Fig. 2.3 demonstrates the cycle of the material involved.

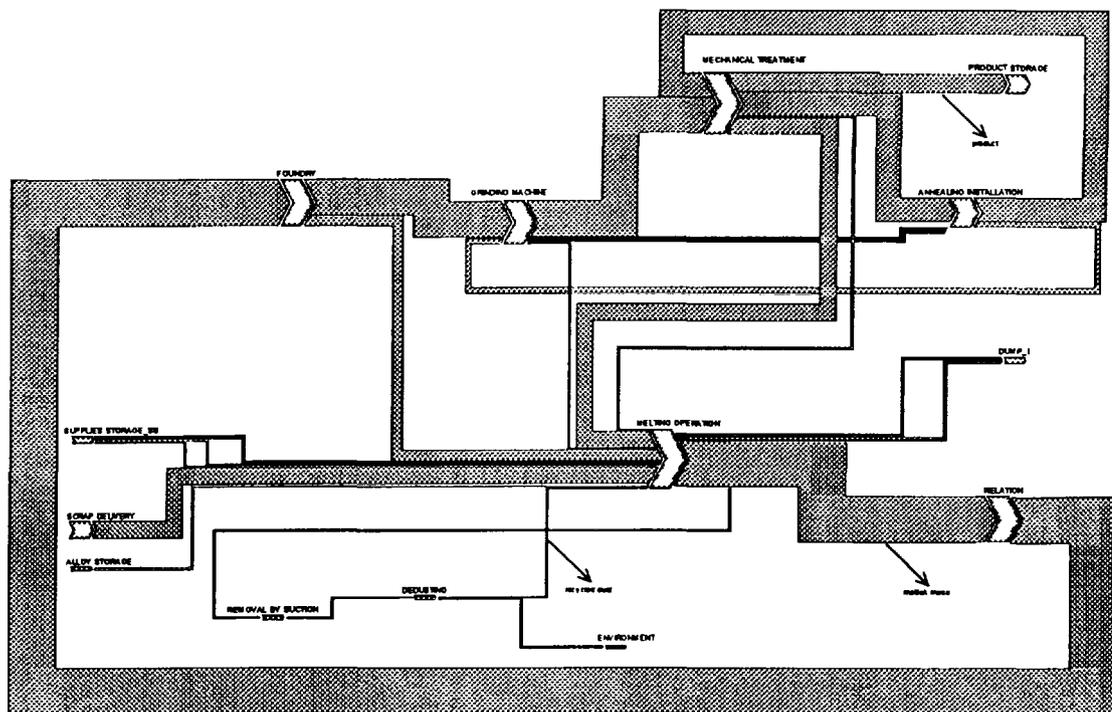


Fig. 2.3 Metal cycle

It is evident that only a part of the molten mass (grey colour) is actually used in the product.

The characteristic value ascertained explains this statement again: 2.4t molten mass/t product, i.e. per ton product a surplus of 1.4 tons metal is molten – explains this statement again. Although in the metal cycle only small quantities of waste develop, almost 100% of the cuttings and sprues are recycled (the dust had already been discussed before in connection with the dedusting plant), this more or less "surplus" molten quantity has an indirect effect on the emissions.

Thus, the arc furnace produces few emissions compared with a cupola furnace operated by fuel, however, it must not be overlooked that this electrical energy has to be produced elsewhere. Considering a CO<sub>2</sub> equivalent of 0.4kg CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> (according to the OECD–Mix), at least a specific CO<sub>2</sub> emission of approximately 321kg CO<sub>2</sub>/t molten mass (at a specific energy consumption of 801.25kWh<sub>el</sub>/t molten mass) may be evaluated for this operation. A reduction of the molten mass with an unchanged product quantity thus indirectly results in a decrease of emissions.

Apart from the environmental aspect naturally the financial aspect must not be disregarded. The costs for the electrical energy per ton molten material amount to approximately 640 ATS. Considering that in foundries of this size several thousand tons of metal - in this case 38,500 - are molten, a more exact analysis of this situation may be useful.

Generally, for each operation - apart from the ecological component - the financial component should be in the forefront.

### Cost Comparison

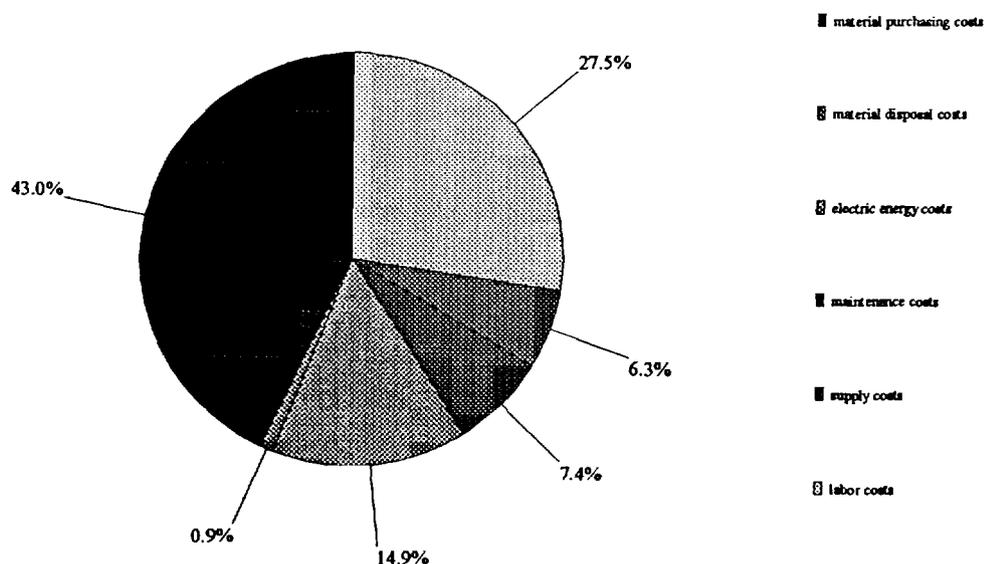


Fig. 2.4 Comparison of all costs

Fig. 2.4 demonstrates, that the material purchase costs at 43% form a large part of the costs. Within the input area, on the other hand, the alloy material forms the main part of the costs with almost 45 %. A more exact check of the application of alloy is recommended in this area, meaning no overdosage, but compliance with the quality criteria of the products -.

The previous chapter demonstrates roughly how the user is supported by the software package **AUDIT** when analyzing operations. For the present project, the comparative options may only be used decisively, when the respective data of the foundries with obsolete technology is available.

## 2.3 Structure

### 2.3.1 Basics

Chapter 3 to 5 give a general overview on the technique of casting, its effect on the environment and possible environmental measures.

With respect to the casting technique (chapter 3, page 10) different casting procedures as well as preparational (smelting) rocedures and subsequent operations are discussed

Chapter 4 (**EMISSIONS AND ENERGY CONSUMPTION IN FOUNDRIES**, page 17) deals with waste air and waste water emissions, solid waste, and energy consumption in foundries. Apart from the qualitative information on the type and the origin of harmful substances, the quantitative statements (limit values, actual emission data for various plants, specific reference values for emissions and energy application) are important for further comparison purposes.

In chapter 5 – – reference points are given to indicate optimization potentials in various areas (material applied, outgoing air, waste water, waste).

### 2.3.2 Different Types

Each of the following three chapters deal with an operation whose data were evaluated and processed by **AUDIT**. The basic structure of these chapters remains the same, therefore it is described briefly only once.

In a general description the operation (quantity and type of products, procedures,...) is introduced briefly. Subsequently, the findings derived by evaluations are presented.

The following chapters deal mainly with data relevant for input and evaluation by **AUDIT**. In this context attention should be especially given to the *process* stipulations of the annex.

**The process stipulation:**

*In order to balance an operation presented in the form of an AUDIT flow chart containing plants and flows (see 7.3.1, page 46), and to check the validity of the data evaluated and the assumptions made, so-called process stipulations, i.e. equations, have to be superimposed for the plants which simulate the actual procedures in the plant /machine. These process stipulations result in a system of equations for the AUDIT option. If this equation system can be solved within the tolerance given by the user, this means that the balance is settled.*

*If each process stipulation of this system follows the mass conservation law (input material mass = output material mass), an option balanced in such a way ensures mass conservation for the entire system).*

*Based on this approach – establishing a closed loop system – errors, e.g. inaccurate information or not complying enough information on material quantities, could be corrected immediately during data acquisition and processing with AUDIT and essential information could be requested directly on site.*

*Process stipulations can be defined only for so-called processing facilities – plants in which processes take place – however, they cannot be defined for input or output units. The program type "rollers" contains e.g. 13 processing facilities (see table 7.3.5 processing facilities, page 48).*

*The processing stipulations use abbreviations for the corresponding material. These abbreviations can be found in the material tables.*

Thus, the process stipulations reflect the real work and processing steps. Therefore, they are central elements for the development of the AUDIT variant.

For analysis and assessment of the operation, graphics drawn with the program tools **Audit-Sankey** and **Audit-Chart** are available (e.g. Fig. 7.5.1, page 58 or Fig. 7.5.3, page 60) With this task the assessed and computed data are compared with each other in a distinct way allowing a more objective view.

The numerous determined parameters (product-related, exhaust air-related, etc.) shall provide the precondition to compare different companies (of the same branch) directly. Subsequently, this will be of fundamental importance for the assessment of different procedures and technologies (e.g. modern – obsolete).

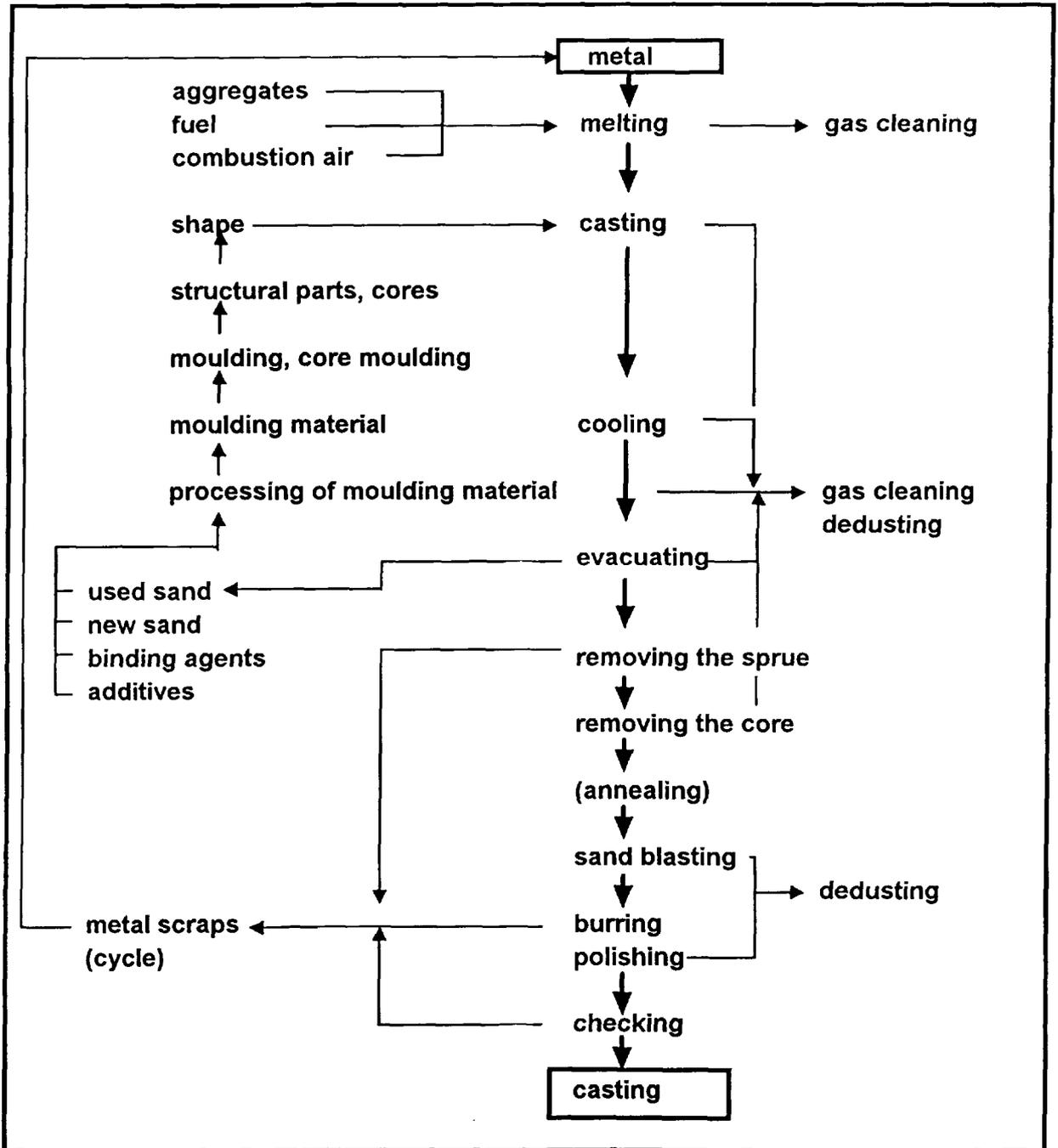
The listings of the balance results and cost calculations, which can also be found in the respective chapters of the annex, may be used for checking all other calculated and represented values.

### 3 SHAPING BY CASTING

---

### 3.1 General

By casting liquid material is transformed into solid material with certain dimensions and characteristics.



When manufacturing casted constructional elements, material for casting is transformed directly from a shapeless liquid condition to a casting of defined shape with certain characteristics, provided no thermal treatment or any further treatments are performed. This is done by filling a casting mould which should have the same dimensions and shape of the casting as accurate as possible considering the metal contraction and the movement of the

side walls.

A special feature of shaping by casting in comparison to other shaping processes is the fact that the part to be manufactured receives its final appearance almost directly from the molten condition. With castings being manufactured according to precision casting, often not even tolerated tight fitting surfaces require the treatment usually applied. The predominant portion of castings are castings without tolerated measurements of which the casting dimensions may differ slightly from the drawing dimensions.

## 3.2 Procedure of shaping and casting technique

**Shaping procedures** are all procedures serving to the manufacturing of a certain mould designated to hold the liquid material.

**Casting procedures** determine how the mould is filled (e.g. vertical or gravity casting, slush casting, diecasting, spun type casting).

### 3.2.1 *Technique of dead mould casting*

Within the manufacturing processes among the various methods used whose common characteristic is the one-time usability of the casting moulds, the compact moulding material has a decisive impact on the quality of the casting and so thus on its dimensional stability, surface quality, crystalline structure, and its processing.

Nowadays, to a great extent, so-called **synthetic sand** with a **fireproof, granular basic substrata** of silica sand as well as chromite, olivine, zircon sand and others are used. The **binding agents** for the moulding sand may be of an inorganic or organic nature.

Dead clayey moulds have to be **compacted mechanically** (by pounding, shaking, pressing, spinning and certain other combinations) to achieve an adequate stability.

**Casting moulds hardened by chemical reactions** have found considerably increased usage over the past few years. Thermosetting phenolic casting resin shell moulds after **Croning** are used increasingly with larger series of small castings. Moulding material with cold setting resin binding agents (e.g. on the basis of phenol or furan resin) are also used with single parts and larger series of bigger castings.

**Magnetic moulding** and the **vacuum moulding process** are **physical compacting procedures**. With the magnetic moulding process, the moulding material iron powder is compacted by a strong magnetic field in connection with a gasifiable, i.e. polystyrene foam pattern which remains in the mould. With the **vaccum moulding process**, a heated and therefore easily shapeable plastic foil is suctioned on the moulding box, silica sand without binding agents or zircon sand etc. is poured in and then the top side of the box is covered with a plastic foil and the box is evacuated. The box with the compacted sand may be taken off the pattern and cramped to the counter box being evacuated as well.

Generally, the manufacturing of the mould may be divided in four sections:

***Moulding of pattern and manufacturing of cores***

***Separating pattern and mould***

Not required, if gasifiable polystyrene foam patterns (full mould casting) are used, or patterns being melted out or removable patterns of wax and artificial resin are used, or with precision casting.

Usually, separating agents are sprayed on.

***Inserting cores***

The coating material (slur, mould varnish) is a fire-proof layer which is applied as a liquid or pasty substance by dipping, brushing, pouring or spraying and forms a protective layer on cores or moulds.

***Composing mould parts  
(add, cramping, weighting)***

### ***3.2.2 Hand moulding***

This procedure is applied with large castings and/or a small series of castings.

### ***3.2.3 Machine moulding***

This procedure is used with medium and larger casting series of small and medium castings. The processes executed by machines for manufacturing the mould (fill in sand, compact, lift, lower, turn, transfer, insert core, add, transfer, transport, weight, cast, shake out, separate, clean) are basically in many respects the same as with the hand moulding procedure.

The structure of a foundry is basically defined by the casting program, volume of the series, production performance and the space. Foundries are not only suitable for a casting program with a large number of items, but, not the least due to the fast change of moulding plates, also for a multiple program of often small series. There are mechanized, partly automated and fully automated casting installations.

### 3.2.4 Permanent-mould casting

A characteristic feature of permanent moulds is their repeated usability. A dominant part of production has been taken over by permanent-mould casting with respect to nonferrous metal casting material with a comparatively low melting point (like alloys of zinc, magnesium, aluminum and copper). This can be explained since the casting temperature and thus the thermal stress on the mould which sets limits to the process, are comparatively low.

Types of permanent-mould casting:

#### Gravity-die casting

With this process an idle permanent mould, mostly steel or cast iron, is filled without pressure, i.e. influenced by gravity. The shape of the casting is completely set by the mould. If the cores are also manufactured from **chill-cast material**, e.g. ferrous products, they are called "full ingot moulds" or "gravity dies". By adding sand granules (mixed ingot moulds ) a higher shaping ability is achieved.

With **low-pressure gravity diecasting**, the mould is filled electromagnetically or with a low overpressure of approximately 0,2 to 0,8 bar via an ascending pipe from the bottom. After the mould is filled, the casting solidifies while the low overpressure is maintained.

#### Die-casting

With this procedure the liquid metal is pressed in a permanent - accurately manufactured - metallic mould (generally of hardened, alloyed steel) with high pressure and great speed. This pressure is maintained until the solidification of the casting is terminated. In **hot-chamber machines** the diecasting machine and the holding furnace form a unit. Therefore the production sequence is very high (e.g. with smallest parts which solidify fast often more than 1000 casts/hour). The application range is limited due to the high thermal stress of pressure piston and pressure chamber on alloys with a low melting point , e.g. alloy based on zinc, tin, lead and magnesium. In **cold-chamber diecasting machines** (approximately 10 to 300 casts/h) where holding furnace and diecasting machine are separated, all alloys with a higher melting point are processed, namely aluminum and copper alloys (brass), and frequently also magnesium alloys, especially in larger castings.

Diecasting parts (up to approximately 40 kg individual weight of aluminum alloys and up to 15 kg of magnesium alloys) which can only be manufactured economically in larger series due to the extraordinary high expenditure for machines and moulds, are distinguished by a high dimensional stability and a very good surface quality. The cleaning expenditure is small. The subsequent treatment is limited in tolerated tight fitting surfaces and cutting in threads, in cases where they have not yet been cast as coarse threads or as inserts. Material expenditure is low, since the application of this procedure is limited to castings with a comparatively small wall thickness. Parts with thick walls have to be manufactured according to gravity-die casting or casted in sand moulds.

### Spin casting

With this method the casting metal is filled in a ring-shaped rotating ingot mould and shaped to tins, rings and pipes (e.g. pressure pipes of cast iron with nodular graphite, copper and copper alloyed pipes, piston rings, cylinder liners, ribbed cylinders) under the impact of centrifugal force. In the spin casting procedure the centrifugal force which impacts on the casting metal is utilized in rotating moulds for a better mould filling capacity.

### Continuous casting

This method is a continuous casting procedure for manufacturing solid and hollow sections whose lengths are a great deal larger than the mostly waterchilled ingot mould of metal or of graphite (e.g. with cast iron as well as with copper and copper alloys). The molten mass is poured in an ingot mould being open on both sides which is only closed at the counter side when casted on. In the ingot mould the molten mass cools down just enough so that a stable outer layer may be formed. The partly solidified billet is pulled out of the mould horizontally or vertically or in an arc of a circle, according to the respective casting system. Apart from semifinished products directly applicable sections and pipes may be manufactured.

### Composite casting

This method comprises the pouring in or casting on of parts of other casting material or the resmelting with a different casting material for functional reasons.

### 3.3 Procedures for preparation and further treatment

#### 3.3.1 *Melting of material for casting*

For transforming the material for casting as well as the aggregates into the molten condition there are different melting devices available which are heated by coke, gas oil or electrical energy. These are shaft or cupola furnaces, pit and hearth type furnaces.

The most important melting devices for the casting procedures stated below are the following:

**Cast iron and malleable cast steel:** cupola (shaft) furnace, induction furnace.

**Steel casting:** arc furnace, induction furnace.

**Nonferrous metal casting:** induction furnace, electrically, gas or oil heated crucible melting furnace.

#### 3.3.2 *Cleaning of castings*

For evacuating the moulds **shakers** are used and **grit cleaning systems** serve to remove the sand parts which generally work with steel grain or steel grit from wire.

#### 3.3.3 *Thermal treatment*

Numerous materials receive their required physical and technological characteristics only by a thermal treatment. For this electrically, gas, oil or electrically heated or furnaces are required. whether working continuously or discontinuously. Their size is coordinated to the size and volume of the casting and their working manner to the different types of thermal treatment.

#### 3.3.4 *Checking and testing methods*

Technical progress, increasing wear as well as the trend to lightweight construction and thus a more rational material utilization inevitably lead to a demand for superior casting quality with a special emphasis on uniformity. Checks on the casting methods and on the castings themselves begin with an examination of the metallic and non-metallic material applied and end with the finished casting. For checking the material and the casting, nondestructive testing methods like X-ray, ultrasound, magnetic and penetration procedures are utilized. For destructive testing methods like the tension and the notched bar impact bending test, generally separated samples or casted-on samples are used, and in special cases samples from the casting itself.

## 4 EMISSIONS AND ENERGY CONSUMPTION IN FOUNDRIES

## 4.1 Waste air emissions

The emissions differ in quality and quantity from foundry to foundry.

**Dust emissions** are formed with shaping, evacuating, cleaning, sand regeneration and to a small extent also with the manufacturing of cores. With the manufacturing of cores in particular the following **organic media** of "class I" emissions according to point 3.1.7 of the "TA-Luft 86" ("TA-air 86"), are formed: phenol, formaldehyde as well as amines like triethylamine (TEA), dimethylamine (DMEA), and demethylisopropylamine (DMIA). These substances are to some extent very pungent. As an inorganic substance the gaseous substance hydrogen cyanide is formed according to no. 3.1.6.

When **manufacturing moulds with resin-bonded sand** similar emissions are formed as with the manufacturing of cores.

In the casting, cooling and evacuating area the concentration of these substances is considerably smaller than with the manufacturing of cores and moulds. On the other hand with casting and cooling reaction products like polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and benzol (carcinogenic substances), are formed due to high temperatures and the reducing atmosphere.

### 4.1.1 Emission sources

The following tables give a **qualitative overview** on the type and point of origin of harmful substances.

Smelting plants:

| Harmful substance            | Cupola furnace | Electric arc | Induction furnace |
|------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| <b>Inorganic substances:</b> |                |              |                   |
| Dust                         | x              | x            | x                 |
| Lead                         | x              | x            | x                 |
| Cadmium                      | x              | x            | x                 |
| Nickel                       | x              | x            | x                 |
| Chromium                     | x              | x            | x                 |
| Manganese                    | x              | x            | x                 |
| CO                           | x              | x            |                   |
| H <sub>2</sub> S             | x              |              |                   |
| SO <sub>2</sub>              | x              |              |                   |
| NOx                          | x              | x            | x                 |
| HF                           | x              | x            | x                 |
| NH <sub>3</sub>              |                |              |                   |
| HCN                          |                |              |                   |

| Organic substances |   |   |   |
|--------------------|---|---|---|
| Total              | x | x | x |
| Formaldehyde       |   |   |   |
| Phenol             |   |   |   |
| Amines             |   |   |   |
| Benzol             |   |   |   |
| PAH                |   |   |   |

**Core moulding:**

| Harmful substance            | Hot-Box | Croning | Cold-Box |
|------------------------------|---------|---------|----------|
| <b>Inorganic substances:</b> |         |         |          |
| Dust                         | x       | x       | x        |
| Lead                         |         |         |          |
| Cadmium                      |         |         |          |
| Nickel                       |         |         |          |
| Chromium                     |         |         |          |
| Manganese                    |         |         |          |
| CO                           |         |         |          |
| H <sub>2</sub> S             |         |         |          |
| SO <sub>2</sub>              |         |         |          |
| NO <sub>x</sub>              |         |         |          |
| HF                           |         |         |          |
| NH <sub>3</sub>              |         | x       |          |
| HCN                          |         | x       |          |
| <b>Organic substances:</b>   |         |         |          |
| Total                        | x       | x       | x        |
| Formaldehyde                 | x       | x       |          |
| Phenol                       | x       | x       | x        |
| Amines                       |         |         | x        |
| Benzol                       |         |         |          |
| PAH                          |         |         |          |

## Further treatment and actual casting:

| Harmful substance            | Preparation of sand | Shaping, casting,<br>cool-down, evacuating | Cleaning |
|------------------------------|---------------------|--|----------|
| <b>Inorganic substances:</b> |                     |  |          |
| Dust                         | x                   | x  | x        |
| Lead                         |                     |  |          |
| Cadmium                      |                     |  |          |
| Nickel                       |                     |  | x        |
| Chromium                     |                     |  | x        |
| Manganese                    |                     |  | x        |
| CO                           |                     |  |          |
| H <sub>2</sub> S             |                     |  |          |
| SO <sub>2</sub>              |                     |  |          |
| NO <sub>x</sub>              |                     |  |          |
| HF                           |                     |  |          |
| NH <sub>3</sub>              |                     | x  |          |
| HCN                          |                     | x  |          |
| <b>Organic substances:</b>   |                     |  |          |
| Total                        |                     | x  |          |
| Formaldehyde                 |                     | x  |          |
| Phenol                       |                     | x  |          |
| Amines                       |                     | x  |          |
| Benzol                       |                     | x  |          |
| PAH <sup>1</sup>             |                     | x  |          |

<sup>1</sup> .. PAH's do not form when casting NE metals

The authority for environment protection ("Umweltbundesamt") of Berlin stated in 1987 the following quantitative emissions data for different areas of cast iron, malleable cast steel, and steel casting:

| Foundry<br>Melting performance |    | Emiss.<br>m <sup>3</sup> /h | Filter | Dust<br>mg/m <sup>3</sup> | SO <sub>2</sub><br>mg/m <sup>3</sup> | CO<br>mg/m <sup>3</sup> | Nox<br>mg/m <sup>3</sup> | HF<br>mg/m <sup>3</sup> | O <sub>2</sub><br>% |
|--------------------------------|----|-----------------------------|--------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| Hot-blast cupola<br>20 t/h     | UG | 40000                       | D      | 5                         | 80                                   | 1000                    | 15                       | -                       | 7                   |
| Hot-blast cupola<br>25 t/h     | UG | 35000                       | V      | 36                        | 40                                   | 10-30                   | 23                       | -                       | 7                   |
| Hot-blast cupola<br>19 t/h     | UG | 29000                       | V      | 41                        | 19                                   | 16000                   | 19                       | -                       | 12                  |
| Hot-blast cupola<br>60 t/h     | UG | 75000                       | D      | 5                         | 81                                   | 12                      | 10                       | -                       | 7                   |
| Cold blast furn.<br>9 t/h      | UG | 22000                       | G      | 4                         | 67                                   | 11000                   | 38                       | -                       | 14,6                |
| Cold blast furn.<br>3,2 t/h    | OG | 12000                       | G      | 10                        | 300                                  | 3800                    | 12                       | 1                       | 13,5                |
| Cold blast furn.<br>8 t/h      | OG | 20000                       | G      | < 20                      | 300                                  | 700                     | 27                       | -                       | 13,5                |
| Cold blast furn.<br>5 t/h      | OG | 23000                       | G      | 6                         | 171                                  | 11250                   | 25                       | -                       | 17                  |

| Foundry                    | Emiss.<br>m <sup>3</sup> /h | Filter | Dust<br>mg/m <sup>3</sup> | Amines<br>mg/m <sup>3</sup> | Phenol<br>mg/m <sup>3</sup> |
|----------------------------|-----------------------------|--------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Preparation of sand 80 t/h | 64000                       | V      | 4                         | -                           | -                           |
| Preparation of sand 11 t/h | 48000                       | N      | 7                         | -                           | -                           |
| Preparation of sand        | 57400                       | G      | 6                         | -                           | -                           |
| Foundry evacuat. station   | 51000                       | N      | 7                         | -                           | -                           |
| Foundry evacuat. station   | 50000                       | G      | 2                         | -                           | -                           |
| Cleaning                   | 54000                       | G      | 5                         | -                           | -                           |
| Sand blast chamber         | 17000                       | G      | 4                         | -                           | -                           |
| Core moulding (cold box)   | 25000                       | S      | 0,4                       | 2,4                         | 0,5                         |

Explanations:

|    |                           |
|----|---------------------------|
| UG | Sucking off bottom charge |
| OG | Sucking off top charge    |
| D  | Desintegrator             |
| N  | Wet washer                |
| S  | Acid washer               |
| V  | Venturi                   |
| G  | Fibrous filter            |

Rough **emission factors** may be derived from the exhaust flow rates and the ratio of concentration wherever installation capacities are indicated.

In addition, the literature refers to the following **specific guiding values** regarding dust formed (*ATV Handbuch 1985* and *Baum 1988*):

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| Shaft furnaces                   | 5 - 30 kg/t iron  |
| Circulation of moulding material | 2 - 6 kg/t iron   |
| Casting cleaning room            | 0,5 - 1 kg/t iron |

An average value for the ratio of dust to inorganic and organic gases for the total emissions per year may be derived with the help of the *Berlin plan for keeping the air clean* ("Luftreinhalteplan" Berlin):

| Emissions - total | Inorganic gases | Org. gases + vapors | Dust    |
|-------------------|-----------------|---------------------|---------|
| 963 t/a           | 828 t/a         | 22 t/a              | 113 t/a |
| 100 %             | 86 %            | 2,3                 | 11,7    |

With regard to **odour emissions**, a crude gas stream from a foundry of 80,000 m<sup>3</sup>/h with approximately 1500 GE/m<sup>3</sup> (GE = odour units) and 140 mg/m<sup>3</sup> of organic carbon from aromatic and aliphatic hydrocarbon, is prescribed for a **light metal foundry** (plant Untertürkheim of Mercedes-Benz AG). An odour decrease of an efficiency of over more than 80 % could be achieved via a biofilter.

**Foundries for NE metals** are comparable with iron, malleable steel and steel casting foundries with respect to technique and operating mode. Differences can be found mainly in connection with the material used (the predominant part of the melting material consists of NE metals like aluminum, lead, copper, zinc, tin, also in form of alloys), the melting system (e.g. in induction furnaces) and to some extent in the casting method (e.g. wax moulds for precision casting).

#### **4.1.2 Emission limits**

In Austria emissions are regulated by the "decree on the limitation of emissions of air polluting substances from foundries" ("Verordnung über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Gießereien"), a decree of the trade regulations (Gewerbeordnung), federal law no. (Bundesgesetzblatt) 447/1994.

§ 3 contains **limit values** for the following plants:

1. Foundry furnaces for steel or cast iron
2. Foundry furnaces for aluminum
3. Foundry furnaces for lead
4. Foundry furnaces for other metals
5. Heating furnaces or furnaces for hot treatment for metals in foundries, unless paragraph 2 does not state otherwise
6. Plant parts for sand preparation, mould manufacturing as well as for scrubbing and cleaning of castings
7. Plant parts for core moulding and for foundries, as well as plant parts for other areas not stated under Z1 to Z6
8. Plant parts under Z1 to Z7, unless not defined otherwise under Z1 to Z7

This regulation partly follows the definition of the TA-air 86 from Germany.

In Germany the "Technical Instruction for Keeping the Air Clean" ("Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft" (TA-air), an administration regulation of the federal protective law against emissions (Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG) from 1986, contains pertinent limit values.

There are limits for the following:

- Dust - total
- Inorganic dust components
- Gaseous inorganic substances
- Organic substances
- Carcinogenic substances

| Limit values after TA-air 86  | mg/m <sup>3</sup> |
|---|-------------------|
| <b>Dust - total:</b>  |                   |
| - registration  |                   |
| - cupola furnace with suctioning off bottom charge                                      | 50                |
| - cupola furnace with suctioning off top charge   | 20                |
| - induction furnace   | 20                |
| - arc light furnace   | 20                |
| - other plant   | 50                |
| - with an application of filtering separators   | 20                |
| <b>Dustlike inorganic substances:</b>   |                   |
| - Class I, e.g. cadmium   | 0,2               |
| - Class II, e.g. arsenic  | 1                 |
| - Class III, e.g. lead, tin   | 5                 |
| <b>Gaseous inorganic substances:</b>  |                   |
| - Class II, e.g. hydrogen cyanide, fluorine and fluorine connections, hydrogen sulphide | 5                 |
| - Class III, e.g. chlorine connections  | 30                |
| - Class IV, e.g. SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>                                      | 500               |
| - Carbon monoxide in hot-blast cupola furnaces with CO utilization                      | 1000              |
| <b>Organic substances:</b>  |                   |
| - Class I, e.g. phenol, formaldehyde, amines  | 20                |
| among amines  | 5                 |
| - Class II  | 100               |
| - Class III   | 150               |
| <b>Carcinogenic substances:</b>   |                   |
| - Class I, e.g. benzpyrene  | 0,1               |
| - Class II, e.g. chromium(VI), nickel   | 1                 |
| - Class III, e.g. benzol  | 5                 |

## 4.2 Waste water

In foundries waste water is primarily caused by the following:

- from **pollution abatement facilities** for cleaning waste air and waste gas
- from **measurements for cleaning the floor** (in some NE-metal foundries)
- from **cooling system cycles** (e.g. induction furnaces, ingot moulds)
- from **subsequent treatment procedures** (e.g. polishing)

Waste water from **wet washers** is transported in a cycle after separation of the substances that deposit quickly, small amounts are clarified and replaced by fresh water. This procedure avoids too many minerals added to the washing water.

According to the *ATV Handbuch 1985* waste water amounts to **approximately 3 m<sup>3</sup>/t of casting**.

Waste water is also produced in the **moulding plant** by wet cleaning of the used sand as well as by remains of the liquid binding agents. Furthermore, **cooling water**, which generally is hardly or not at all contaminated, may be produced in miscellaneous melting installations and compressors.

Waste water from dust scrubbing systems of melting plants primarily contains **inorganic solid matter** like SiO<sub>2</sub>, iron oxide, aluminum oxide, and calcium oxide. Heavy metal - primarily zinc from the application of galvanized steel sheets - is found rarely and small amounts.

Dedusting systems from other parts of the plant contain insoluble fine components of moulding material with small amounts of organic components of the binding agent used. The inorganic solid matter consists partly of finely dispersed iron oxides and clay which are difficult to separate.

### 4.3 Waste

**Used casting sand** is the main part in terms of quantity which cannot be reused any more in the production process.

The quantity to be disposed of varies strongly with the level of reutilization of used sand.

Further solid wastes are filter dust, filter scum, furnace clinker, waster, ladle coating, cleaning sand.

Other **miscellaneous waste** are chemicals, process materials, e.g. waste oil, which have to be disposed of separately.

### 4.4 Energy consumption

*Umbera* examined the energy consumption of an iron foundry on the basis of a concrete example.

Monthly 400 - 450 t iron and scrap iron are melted in 2 electric furnaces which corresponds to **a capacity of both furnaces of a total of 1 - 1,2 t/h**.

The result is 200 - 300 t good casting, the rest is resmelted.

In the **annealing furnace** 500 - 100 t/month are exposed to a thermal treatment.

*Performance data of electric furnaces:*

|  | Furnace 1 | Furnace 2 | Total |
|--|-----------|-----------|-------|
| Melting capacity t/h                   |           |           | 1,1   |
| Voltage kW                             | 600       | 500       | 1100  |
| Melting performance kW                 | 550       | 480       | 1030  |
| Cooling water inlet °C                 | 35        | 35        | -     |
| Cooling water outlet °C                | 50        | 50        | -     |
| Cooling water amount m <sup>3</sup> /h |           |           | 13    |

In relation to a medium melting capacity of 1,1 t/h, this corresponds to an hourly fusion heat of 1030 kWh and a specific energy application of 936 kWh/t molten metal.

The consumption of cooling water for both furnaces amounts to 11 - 15 m<sup>3</sup>/h, (i.e. approximately 12 m<sup>3</sup>/t molten metal).

Approximately 7500 m<sup>3</sup> gas are combusted and 50 - 100 t cast iron are annealed (T > 800 °C). This corresponds to a medium specific consumption of 100 m<sup>3</sup> gas/t cast iron.

The effective compressor performance for the air pressure supply is 90 kW.

For the valuation of the CO<sub>2</sub> equivalent in the application of electric energy in the melting furnaces and gas in the annealing furnace, the conversion is done by the following specific values (OECD-mix for electric current according to the *Academy of Science*):

**Electric current - OECD-mix**

**0,400 kg CO<sub>2</sub> / kWh<sub>e</sub>**

**Natural gas**

**187 kg CO<sub>2</sub> / MWh**

**0,01 MWh / Nm<sup>3</sup>**

**1,87 kg CO<sub>2</sub> / Nm<sup>3</sup>**

With 936 kWhel / t molten material this amounts to specific CO<sub>2</sub>-emissions for this plant of

**374 kg CO<sub>2</sub> / t molten material**

and for the annealing furnace with a medium specific consumption of 100 m<sup>3</sup> gas/t for cast iron

**187 kg CO<sub>2</sub> / t casting.**

Waste heat generally results in melting installations and in the casting area and although not used very often is released in the surroundings. The friction of the sand granules with certain procedures of sand regeneration also produces waste heat. Heat, particularly in combination with the heavy work, represents a special strain on the workers.

## **5 ENVIRONMENTAL PERTINENCE**

---

*In foundries basically the following areas are pertinent to the environment:*

- *Selection of materials used*
- *Storage and handling of endangering water material*
- *Processing steps causing air and waste water problems*
- *Protection of employees and neighbourhoods from noise*

## 5.1 Materials used

- Since a substitution for quartziferous moulding material has not been possible so far, **protective measures** have to be taken.
- Replacement of asbestos** in the plant with harmless materials.
- Selection of manufacturing processes and foundry chemicals (e.g. binding agents)
  - a) If possible, **cold processes** should be used for core moulding. In cases where high temperature processes are used, the plant should be metal-clad.
  - b) Application by **environmentally protective methods**, e.g. by carbonic acid for the manufacturing of small series or the usage of cement-bound sand for large castings.
  - c) Application of **binding agents with a low content of emissions**, e.g.:
    - Furan resin for the cold resin process with parts of free formaldehyde under 0,5 % (specific for solid resin)
    - Phenol resin for the Croning method with parts of free phenol under 0,2 % (specific for solid resin). This type of resin does not have to be marked any more according to the "GefStoffV" of Germany.
  - d) The following criteria may be taken into consideration when selecting foundry chemicals:
    - high ignition point
    - no marking in compliance with the "VbF" or marking according to class of hazard A III or B (Germany)
    - no marking according to "GefstoffV"
    - no "TRK" or "MAK"-value (maximum work place concentration) or high "MAK"-value
    - low steam pressure (corresponds to a high evaporation point)
- Use of a minimum amount of binding agents according to the corresponding technical sheets of instructions:
  - perhaps determination of the smallest possible amount of binding agents through preliminary tests (in particular for large productions)
  - **automatic dosage wherever possible.**
  - dosage monitoring
- Observance of temperature requirements for moulding sand and binding agents when mixing as well as with mould manufacturing and core moulding. Mixing temperatures when too high, cause avoidable pollutant emissions at the mixer. Processing temperatures when too low during the manufacture of moulds and cores, require an increased consumption of hardening agents or catalysts and thus lead to an increased pollution burden at the work places.

**Minimization of sand used:**

The target is to manage with moulding sand containing a minimum amount of binding agents. If possible, solid cores should be replaced by hollow cores. If required, the hollow space could be filled with moulding sand free of binding agents. With single-part productions the moulding box dimensions should be utilized entirely by the casting. If necessary, old moulded parts or stones (sand saving blocks) should be moulded in as well in order to save moulding sand containing binding agents. Through this procedure the production of pollutants will be decreased. Another advantage is the more economical production by saving moulding material. When using the cold resin sand procedure, fresh sand needs to be used only in connection with the pattern. The fresh sand has to be back-filled with moulding sand containing a lower level of binding agents, e.g. used sand.

**Burning off foundry gas:**

After the casting has been poured out, the casting gas has to be ignited as soon as possible. A complete burning off of the gas produced would be the ideal condition for pouring out and evacuating places in the foundries. At any rate the gas has to be removed without danger.

When casting large castings where sucking or burning off the gases produced is not possible, the personnel employed in this area have to leave the pouring out site.

**Improvement of sand regeneration:**

When regenerating the sand, as much disturbing material as possible (e.g. binder wrapping, hard bentonite) should be taken from the used sand. For this purpose there are several methods available (e.g. mechanic, mechanic-pneumatic, and mechanic-thermal procedures). With a carefully regenerated sand a smaller binding agent addition is required which also results in a decrease of the pollutants.

## 5.2 Waste air emissions

Prevention of harmful environmental impact is most effective, if the development of air polluting substances is avoided or minimized right from the start.

Primary measures:

One of the basic requirements for limiting emissions is a demand for avoiding and minimizing emissions.

For this purpose there are two major options, namely:

a) well-aimed selection of material

b) interference with the production process:

- Method optimization, e.g. general exploitation of material and energy (selection of melting aggregates and burners)
- Optimization of start up and close down procedures and other specific operating modes
- Selection of a suitable smelting plant (by installation of expensive side installations e.g. the economic advantage of a cupola furnace is partly lost, or change to induction furnace which practically works without emissions)
- when melting in the cupola furnace, selection of an appropriate furnace (volume of melting performance, profitability)
- cold-blast cupola furnaces equipped with suctioning off bottom charge (utilization of waste heat)
- generation of as little emissions as possible, e.g. by using fan-type-air drives with regulation interdependent of the charge course and the waste gas results
- elimination of disturbing components at the appropriate process steps, e.g. at refining
- improvement and advancement of melting aggregates (e.g. preparation of material used and its application in skimmer tank furnaces) (melting without salt cover; scrap preheating up to 400° C; exhaust gas afterburning)
- selection of appropriate refining procedures
- optimization of spraying technique when applying separators
- change from vertical to horizontal printing machines, if possible technically.

Only if these measures do not lead to the result, exhaust gas cleaning equipment has to be provided (secondary measures).

Secondary measures

- Measures for cleaning waste gas from furnaces and remelt installations:

| <i>Installation</i>  | <i>Measures</i>   |
|--|---|
| Arc furnaces<br>Primary sources<br>(furnace emissions)<br><br>Secondary sources<br>(charging, casting)   | exhausting via hoods and subsequent dedusting in fibrous filters<br><br>impact of hoods is poor<br><br>complete covering together with primary sources, partly covered, then cleaning of waste gas in filters   |
| Induction furnaces   | measures like arc furnaces<br>circumferential exhausting and hoods necessary  |
| ESU-plants   | waste gas dedusting in wet separators or fibrous filters with superposed dry absorption (addition of alkaline substances like lime hydrate for liberation of gaseous inorganic fluorine connections)  |
| Cupola furnaces<br><br>Cold blast cupola furnaces<br>Melting performance $\leq 10$ t/h<br>Sucking off top charge and bottom charge<br><br>Hot-blast cupola furnaces<br>Melting performance $> 10$ t/h<br>Sucking off bottom charge | Arrangement of dedusting in cold blast and hot-blast cupola furnaces. Feeding in waste gas from core moulding to cupola furnace.<br><br>waste gas cleaning in fibrous filters (subsequent installation also possible)<br><br>Supplementation of separation system by dry adsorption for liberation of gaseous inorganic connections (HF, SO <sub>2</sub> ).<br><br>Waste gas cleaning in wet washers like disintegrators or high-performance venturi for dedusting and waste gas cleaning (SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S- and HF-removal).<br><br>Combustion of CO and organic contaminations in the recuperator for hot air production.<br><br>In addition, reprocessing of washing liquid and sludge is necessary. |
| Resmelting plants<br>for aluminum  | Exhaustion of waste gas of regeneration plants for sweepings and chips with subsequent dedusting in filtering separators (fibrous filter)<br><br>Application of thermal post-combustion for waste gas from deslagging and chip drying plants<br><br>Due to contamination of waste gas by chlorine and fluorine connections application of dry absorption (additional dosage of lime hydrate in the waste gas) with subsequent cleaning in filtering separators (fibrous filters)  |

- Measures for minimization of dust development with dust producing goods during processing, transport and storage of the material used, e.g.:
  - a) enclosed equipment for transport and storage
  - b) collection at the point of origin or at the exit via hoods and covers
    - Use of manually guided processing machines with integrated exhaustion has to be preferred over the exhaustion of the work-place itself.

- Exhaustion of waste gas containing harmful substances, e.g.
  - c) via hoods, partial coverage or complete coverage in the areas of moulding, core moulding and sand regeneration with subsequent cleaning in appropriate separators.
  - d) with furnaces exhaustion, via hoods or exhaustion devices, integrated in the furnace lid
  - e) hoods above diecasting plants and separators
  - f) exhaustion integrated in mould.
- application of filtering separators (e.g. fibrous filter, bag filter, and flat filter) in smelting plants. If necessary, superpose gravity force separators (mechanical strainers with abrading dust) and coolers (fire hazard by flying sparks).
- In case of dust emissions as described below, wet separators are required:
  - combustible and explosive light metal dust (aluminum, magnesium, titane and their alloys)
  - dust caused by spark developing procedures
  - dust in transport air with a relatively high air humidity , e.g. at drying processes
  - dust when being dispersed in water able to be reused in another cycle (recycling)
  - dust being exhausted together with cooling lubricant aerosols
- Gas and vapor exhaustion with appropriate methods, e.g.
  - g) Chemical washers. Chemical washers are applied wherever particular defined substances need to be cleaned, e.g. separation of amines in acid washers. They are also used for separating inorganic gas, e.g. (separation of sulphur dioxide from core moulding (SO<sub>2</sub>-process) in alkaline washers.
  - h) Biological washers. Biological washers are used for instance in cleaning waste air containing phenol from croning core moulding and separating alcohol vapors caused by precision casting.
  - i) Biofilters. They require lots of space, but do not produce waste water nor recyclings, apart from the filter layer that has to be renewed after a few years. Biofilters are relatively new on the market.
  - j) Adsorption procedures, e.g. separation of benzol in activated carbon filters.
  - k) Thermal or catalytic post-combustion. Thermal post-combustion is only useful, if high concentrations are present or if utilization of waste heat is possible; catalytic post-combustion is only applicable, if the waste gas does not contain any catalytic poison (e.g. heavy metal). Since these preconditions very often cannot be found in foundries, the procedures a, b, c, and d should be favored.
- Cross flow of air should be avoided in halls (disturbs exhaustion)
- Combining the flow of waste gas caused by different sources and common treatment

### 5.3 Waste water emissions

The first priority of an ecology-minded waste water management is avoiding and decreasing waste water, the second priority is utilization of recyclings from waste water and in addition a treatment of waste water according to the latest technological development (in case dangerous substances are present) or with regard to the generally accepted rules of technology (with all other substances). The table below depicts some options for avoiding and decreasing waste water:

| <i>Origin of waste water</i>   | <i>Measures</i>  |
|--|--|
| from wet separators<br>at core manufacturing<br>with organic moulding<br>material binding agents | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preference of biowashers over chemical washers, if possible technically (application e.g. for separation of phenol from Croning core moulding and of alcohol from precision casting).</li> <li>2. Application of acid washers (biowashers are not so advantageous, because they are more expensive and more susceptible to failures) for amine gas (e.g. at the cold box procedure) and regeneration of washing liquid containing amines.</li> <li>3. Economical application of chemicals with wet cleaning.</li> <li>4. Recycling of washing liquid saves water and chemicals.</li> </ol> |
| floor cleaning<br>(in some nonferrous metal<br>foundries)  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. For cleaning the floor in industrial halls as little water should be used as possible. Before wet cleaning the floor it should be swept or, if dangerous dust is present, vacuumed with appropriate vacuum cleaners.</li> <li>2. Liquids contaminating water should be removed with an appropriate binding agent. Suitable binding agents are: marl, lyme, and oil-based binding agents.</li> <li>3. For CKW and CKW containing material, expanded mica and infusorial earth qualify.</li> </ol>   |

In addition there are procedures to manage without wet separation and at the same time avoid waste water:

- Application of binder systems containing as little emissions as possible. This makes it possible today to avoid waste air cleaning as well as waste water from wet separators.
- Preference of cold setting procedures at the mould manufacturing and core moulding. Cleaning plants, e.g. wet separators, are often required with hot setting procedures. At gassing processes wet separators are necessary without exception.
- Application of environmentally protective (waste water free) core moulding procedures, e.g. gassing of silicates with carbon dioxide (water glass procedure), if possible.
- Application of (waste water free operating) biofilters (in order to use biological procedures, some preconditions have to be set: Waste air components need to be decomposable biologically, waste air temperature has to be within a range of 5° c and 60° C and the waste air substances have to be water-soluble.

## 5.4 Waste

The following options are available for avoiding and decreasing waste in foundries:

- Recyclant-free moulding procedure
- A considerably closed moulding material cycle with application of regeneration procedures
- Application of moulding material additives (especially shiny coal components) at iron casting, causing as little polycyclic aromatic connections (PAK) as possible in the used sand.
- Separated collection of several recyclants in the foundry (e.g. sand, metal, solvents). Separated from waste oil.
- Blasting shot cycles at aftertreatment of castings.

Among other procedures used sand is produced by the following:

- a) at the separation of unfinished casting from mould or at decoring
- b) at the removal of the sand part in shot blasting and cleaning plants
- c) as base grit in sand preparation and regeneration plants
- d) as overflow sand which is withdrawn in the sand system for fresh sand.

Used sand generally consists of clay and artificial resin bound used sand and fresh sand parts, additives like hardening agents, catalysators, shiny coal components, mould varnish, bonding agents, metallic recyclants as well as reaction products developed from organic substances according to the thermal process procedure at casting (e.g. polycyclic aromatic hydrocarbon).

The yearly requirements of moulding and core sand is covered by 95 % of recycled sand and regenerators, for technological reasons the moulding material system has to be regenerated continuously with fresh sand. High amounts of used sand are dumped.

With *recyclant-poor moulding procedures* the moulding sand is not chemically bound, but physically compacted which results in a small loss of sand but the quality of the moulding material is not diminished. A physical compacting procedure for instance is the vacuum moulding process.

A decrease in used and grit sand is possible by:

- a) Change to permanent moulds (e.g. ingot mould and diecasting) with as little as possible use of sand grits
- b) Application of full mould casting
- c) Application of shell moulds and shell cores instead of solid moulds. Shell moulds are used with the production of large series
- d) Optimal volume utilization of moulding box with moulds in connection with boxes
- e) Decrease of core volume by sparing and hollow shell cores
- f) Optimal bale thickness of moulds without boxes

## 6 LITERATURE

- P. Davids, M. Lange: Die TA Luft '86 - Technischer Kommentar; VDI Verlag Düsseldorf 1986
- F. Baum: Luftreinhaltung in der Praxis; Oldenbourg Verlag München 1988
- Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau; Springer - Verlag Berlin 1981
- Umbera Ges. m. b. H., ACETEC: Ganzheitliche Lösungsansätze für umweltverträgliche Gießereien; erstellt im Auftrag des BMFWF, St. Pölten und Wien 1992
- Integrierter Umweltschutz in einer Messinggießerei; Umwelt Nr. 1/1995
- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg: Betrieblicher Umweltschutz, Heft 12, Eisen-, Temper-, Stahl und Nichteisenmetallgießereien; Stuttgart 1991
- R. Schimberg et.al.: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und andere Schadstoffe aus Gießereiformsanden mit verschiedenen Kohlenstoffträgern; Staub - Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 6 Juni
- D. Michel: Umweltschutz-Maßnahmen in der Gießerei eines Pumpenherstellers; wlb >>wasser, luft und betrieb<< 6/87
- Wirkungsvolle Gießerei-Entstaubung; UMWELTMAGAZIN - Mai 1990
- Regenerierung von Gießerei-Altsanden; UMWELTMAGAZIN - September 1992
- Abwassertechn. Vereinigung e.V.: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik; Wilhelm Ernst & Sohn Verlag Berlin 1985
- Emissionsminderung in Eisen-, Temper- und Stahlgießereien; Umwelt Nr. 3 vom 29. Mai 1987
- Verein Deutscher Giessereifachleute: Einsatzmetalle und Arbeitsstoffe in Gießereien - Gesundheitseinflüsse und Schutzmaßnahmen; Giesserei-Verlag GmbH Düsseldorf 1985
- Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz: Luftreinhalteplan für das Belastungsgebiet Berlin 1986 bis 1993; Berlin 1987
- Biofilter bekämpfen Gießerei Gerüche; UMWELTMAGAZIN - November 1993
- M. Böckler-Klusemann et. al.: Messungen in Gießereien - Einsatz von direktanzeigenden, kontinuierlichen Meßsystemen zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration von silikogenen Stäuben; Staub-Reinhaltung der Luft 52 (1992) 273-277
- R. Schwimberg et. al.: Profilanalyse von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Eisengießereien; Staub-Reinhaltung der Luft Bd. 38 (1978) Nr. 7 Juli Seite 273-276
- W. Coenen: Expositionssituation in Gießereien; Staub-Reinhaltung der Luft 48 (1988) 189-195
- R. Schimberg et. al.: Belastung von Eisengießereiarbeitern durch mutagene polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; Staub-Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 11 November
- Regenerierung von Gießerei-Altsanden; UMWELTMAGAZIN - August 1991
- Österreichische Akademie der Wissenschaften: Technikbewertung des E-Mobils; Wien 1993

**Analyse, Vergleich und Optimierung**

**von Metallgießereien**

**mit dem Softwarepaket AUDIT**

**Statusbericht**

**Graz, 12.04.1996**

**Analyse, Vergleich und Optimierung  
von Metallgießereien  
mit dem Softwarepaket AUDIT**

Statusbericht  
Graz, 12.04.1996

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 FORMGEBUNG DURCH GIEßEN</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1 ALLGEMEINES                                       | 2         |
| 1.2 VERFAHREN DER FORM- UND GIEßTECHNIK               | 3         |
| 1.2.1 Verfahren mit verlorenen Formen                 | 3         |
| 1.2.2 Handformverfahren                               | 4         |
| 1.2.3 Maschinenformverfahren                          | 4         |
| 1.2.4 Verfahren mit Dauerformen                       | 5         |
| 1.3 VORBEREITENDE UND NACHBEHANDELNDE ARBEITSVORGÄNGE | 7         |
| 1.3.1 Erschmelzen von Gußwerkstoffen                  | 7         |
| 1.3.2 Putzen der Gußstücke                            | 7         |
| 1.3.3 Wärmebehandlung                                 | 7         |
| 1.3.4 Kontroll- und Prüfverfahren                     | 7         |
| <b>2 EMISSIONEN UND ENERGIEEINSATZ IN GIEßEREIEN</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1 ABLUFTEMISSIONEN                                  | 9         |
| 2.1.1 Emissionsquellen                                | 9         |
| 2.1.2 Emissionsbegrenzungen                           | 14        |
| 2.2 ABWASSER  | 15        |
| 2.3 ABFALL  | 16        |
| 2.4 ENERGIEEINSATZ                                    | 16        |
| <b>3 UMWELTRELEVANTE MAßNAHMEN</b>                    | <b>19</b> |
| 3.1 EINSATZSTOFFE                                     | 20        |
| 3.2 ABLUFTEMISSIONEN                                  | 22        |
| 3.3 ABWASSEREMISSIONEN                                | 25        |
| 3.4 ABFÄLLE   | 26        |
| <b>4 QUELLEN</b>                                      | <b>27</b> |
| <b>5 DARSTELLUNG EINER WALZENGIEßEREI MIT AUDIT</b>   | <b>28</b> |
| 5.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS            | 29        |
| 5.2 NOTWENDIGE EINGABEDATEN                           | 31        |
| 5.2.1 Stammdaten – Variantendaten                     | 31        |
| 5.2.2 Stammdaten – Stoffdaten                         | 31        |
| 5.2.3 Das Fließbild                                   | 33        |
| 5.2.4 Prozeßdaten                                     | 35        |
| 5.3 PROZEßVORSCHRIFTEN                                | 45        |
| 5.3.1 Allgemeines                                     | 45        |
| 5.3.2 ABSAUGUNG/ABS                                   | 46        |
| 5.3.3 ENTSTAUBUNG/ENTST                               | 46        |
| 5.3.4 SCHMELZBETRIEB/SB                               | 46        |

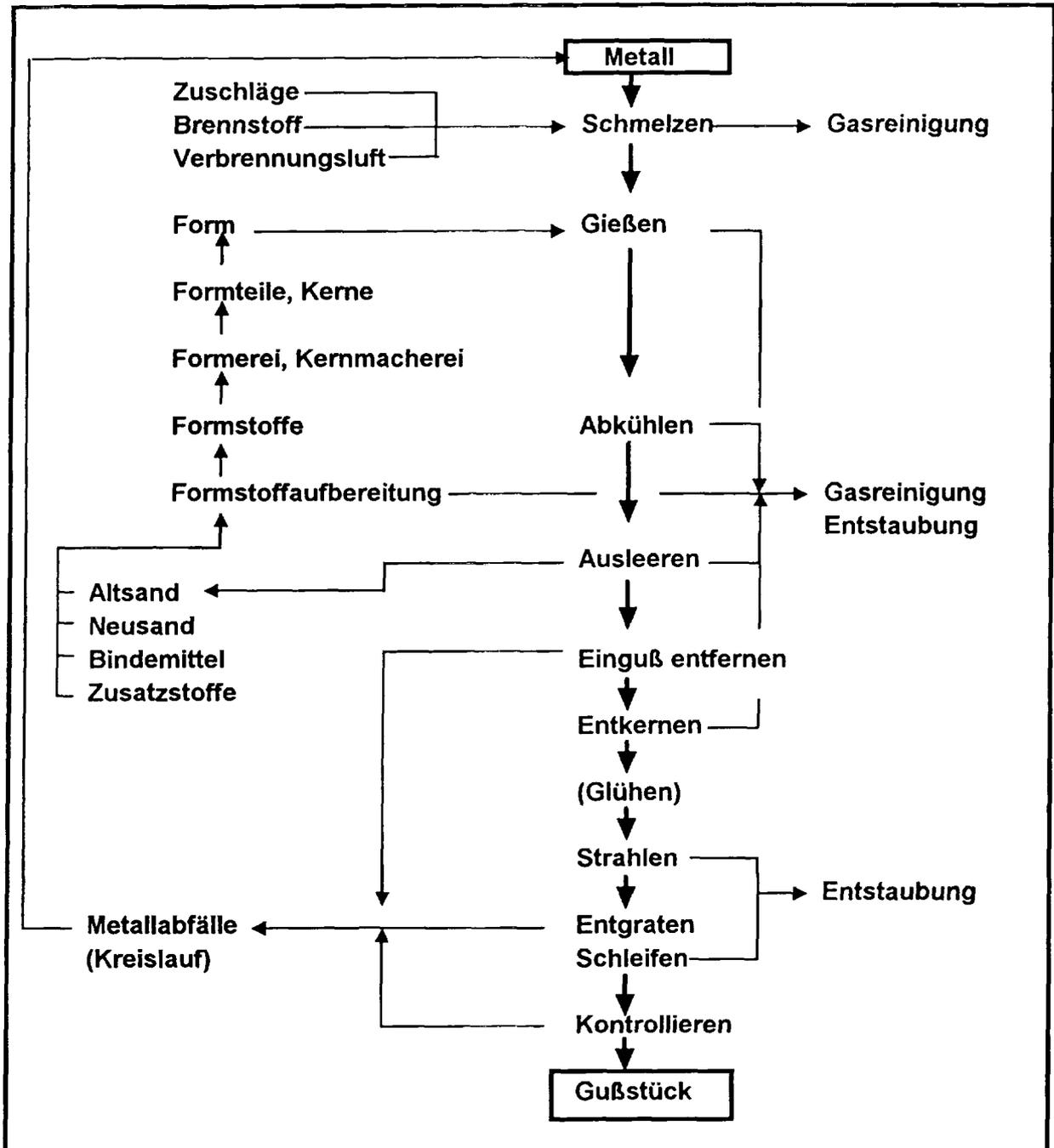
|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.3.5    | RELATION/RELA   | 48        |
| 5.3.6    | DEPONIE1/DEPO1  | 49        |
| 5.3.7    | GIEßEREI/GI   | 50        |
| 5.3.8    | FORMEREI/FO   | 50        |
| 5.3.9    | KOKILLENBEARBEITUNG/KOKIB                               | 51        |
| 5.3.10   | PUTZSCHLEIFMASCHINE/PSM                                 | 51        |
| 5.3.11   | MECHANISCHE BEARBEITUNG/MB                              | 52        |
| 5.3.12   | GLÜHEREI/GL   | 53        |
| 5.3.13   | RESTMÜLLSAMMLUNG/RMS                                    | 54        |
| 5.3.14   | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG/VAS                           | 54        |
| 5.4      | KENNZAHLEN  | 55        |
| 5.5      | GRAPHISCHE DARSTELLUNGEN DER BILANZERGEBNISSE           | 61        |
| <b>6</b> | <b>DARSTELLUNG EINER LEICHTMETALLGIEßEREI MIT AUDIT</b> | <b>66</b> |
| 6.1      | ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS                  | 67        |
| 6.2      | NOTWENDIGE EINGABEDATEN                                 | 68        |
| 6.2.1    | Stammdaten – Variantendaten                             | 68        |
| 6.2.2    | Stammdaten – Stoffdaten                                 | 68        |
| 6.2.3    | Das Fließbild   | 70        |
| 6.2.4    | Prozeßdaten   | 71        |
| 6.3      | PROZEßVORSCHRIFTEN                                      | 80        |
| 6.3.1    | SANDBUNKER /SBU   | 80        |
| 6.3.2    | COLD-BOX-KERNMACHEREI/CBKM                              | 80        |
| 6.3.3    | SÄUREWÄSCHER/SW   | 80        |
| 6.3.4    | CB-KERNEVERTEILER/CBKV                                  | 81        |
| 6.3.5    | HOT-BOX-KERNMACHEREI/HBKM                               | 81        |
| 6.3.6    | HB-KERNEVERTEILER/HBKV                                  | 82        |
| 6.3.7    | PEP-SET-KERNMACHEREI/PSKM                               | 82        |
| 6.3.8    | PS-KERNEVERTEILER/PSKV                                  | 83        |
| 6.3.9    | SCHMELZBETRIEB/SB                                       | 83        |
| 6.3.10   | SCHMELZEVERTEILER/SCHVE                                 | 83        |
| 6.3.11   | KERNZWISCHENLAGER/KZL                                   | 83        |
| 6.3.12   | KOKILLENGIEßEREI/KG                                     | 84        |
| 6.3.13   | KG-GUßPUTZEREI /KGGP                                    | 84        |
| 6.3.14   | NABENTSTAUBER/NE  | 85        |
| 6.3.15   | ENDKONTROLLE/EK   | 85        |
| 6.3.16   | ABSAUGUNG/ABS   | 85        |
| 6.3.17   | DRUCKGUß/DG   | 86        |
| 6.3.18   | STRAHLANLAGE/STR  | 86        |
| 6.3.19   | NIEDERDRUCKGUß/NDG                                      | 86        |
| 6.3.20   | NDG-GUßPUTZEREI /NDGGP                                  | 87        |
| 6.3.21   | SONDERGUß/SG  | 87        |
| 6.3.22   | SG-GUßPUTZEREI HAND/SGGPH                               | 87        |
| 6.3.23   | ALTSANDBUNKER/ASB                                       | 88        |
| 6.3.24   | TNV/TSR/TNVS  | 88        |
| 6.4      | KENNZAHLEN  | 89        |
| 6.5      | GRAPHISCHE DARSTELLUNGEN DER BILANZERGEBNISSE           | 90        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>7 ENERGIEFLUß IN EINER EISENGIEßEREI</b>     | <b>93</b>  |
| 7.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS      | 94         |
| 7.2 NOTWENDIGE EINGABEDATEN                     | 96         |
| 7.2.1 Stammdaten – Variantendaten               | 96         |
| 7.2.2 Stammdaten – Stoffdaten                   | 96         |
| 7.2.3 Das Fließbild                             | 97         |
| 7.2.4 Prozeßdaten                               | 98         |
| 7.3 PROZEßVORSCHRIFTEN                          | 103        |
| 7.3.1 TRANSFORMATOR/TRAFO                       | 103        |
| 7.3.2 STROMVERTEILER/STVER                      | 103        |
| 7.3.3 DIESEL-UMVERTEILER/DIUM                   | 103        |
| 7.3.4 ERDGAS-UMVERTEILER/EGUM                   | 104        |
| 7.3.5 ÖLBRENNER/ÖBRE                            | 104        |
| 7.3.6 GASBRENNER/GABRE                          | 104        |
| 7.3.7 NOTSTROMAGGREGAT/NOTST                    | 104        |
| 7.3.8 MOTOREN/MOT                               | 105        |
| 7.3.9 MECHANISCHE ENERGIE/MEEN                  | 105        |
| 7.3.10 LICHT/LICHT                              | 105        |
| 7.3.11 DRUCKLUFT/DRLU                           | 105        |
| 7.3.12 TRANSPORT/TRPO                           | 106        |
| 7.3.13 HEIZUNG/HEIZ                             | 106        |
| 7.3.14 WARMWASSERBEREITUNG/WAWAB                | 106        |
| 7.3.15 UMWANDLUNGSVERLUSTE/UWV                  | 107        |
| 7.3.16 PROZEßWÄRME/PROWÄ                        | 107        |
| 7.3.17 NUTZENERGIE/NUTZ                         | 107        |
| 7.4 KENNZAHLEN                                  | 108        |
| 7.5 GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER BILANZERGEBNISSE | 109        |
| <b>8 ANHANG</b>                                 | <b>112</b> |

# 1 FORMGEBUNG DURCH GIEßEN

## 1.1 Allgemeines

Durch Gießen werden flüssige Werkstoffe in **geometrisch bestimmte** Teile mit bestimmten Eigenschaften überführt.



Bei der Herstellung gegossener Konstruktionsteile werden Gußwerkstoffe durch Füllen einer Form, die unter Berücksichtigung der Metallschwindung und Formwandbewegung möglichst genau die Abmessungen und Konturen des Werkstücks wiedergeben soll, direkt vom formlosen flüssigen Zustand in ein Gußstück mit definierter Gestalt und, sofern keine Wärme-

behandlung oder andere Nachbehandlungen folgen, bestimmten Werkstückeigenschaften überführt.

Die Besonderheit der Formgebung durch Gießen gegenüber anderen Formgebungsverfahren besteht vor allem darin, daß das herzustellende Teil bereits unmittelbar aus dem schmelzflüssigen Zustand nahezu seine endgültige Gestalt erhält. Bei Gußstücken, die nach dem Feingießverfahren gefertigt werden, bedürfen oft nicht einmal eng tolerierte Paßflächen einer sonst üblichen Bearbeitung. Den weitaus überwiegenden Anteil stellen Gußstücke ohne tolerierte Maße, bei denen die Gußstückabmessungen geringfügig von den Zeichnungsmaßen abweichen dürfen.

## 1.2 Verfahren der Form- und Gießtechnik

**Formverfahren** sind alle Verfahren, die zur Herstellung der für die Aufnahme des flüssigen Metalls bestimmten Form dienen.

**Gießverfahren** bestimmen die Art der Formfüllung (z.B. Standguß oder auch Schwerkraftguß, Sturzguß, Druckguß, Schleuderguß).

### 1.2.1 Verfahren mit verlorenen Formen

Bei den hier einzuordnenden Fertigungsverfahren, deren gemeinsames Kennzeichen die nur einmalige Verwendbarkeit der angefertigten Gießformen ist, nimmt der verfestigte Formstoff entscheidenden Einfluß auf die Gußstückqualität, so z.B. auf die Maßhaltigkeit, Oberflächengüte und Gefügeausbildung, Terminologie der Formstoffe und Verarbeitung.

Heute werden zu einem großen Teil sogenannte **synthetische Sande** mit einer **feuerfesten körnigen Grundsubstanz** aus Quarzsand, aber auch Chromit-, Olivin-, Zirkonsand u.a.m. benutzt. Die **Binder** für die Formsande können anorganischer oder organischer Natur sein.

Verlorene tongebundene Formen müssen zur Erzielung einer ausreichenden Standfestigkeit **mechanisch** (Stampfen, Rütteln, Pressen, Schleudern und Kombinationen) **verdichtet** werden.

Der Anteil der durch **chemische Reaktion verfestigenden Formen** hat in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. So werden besonders warmhärtende phenolharzgebundene Formmasken nach **Croning** bei größeren Serien kleiner Gußstücke und Formstoffe mit kalthärtenden Harzbindern (z.B. auf Phenol- oder Furanharz-Basis) auch bei Einzelteilen und Großserien größerer Gußstücke immer mehr benutzt.

**Physikalische Verdichtungsverfahren** sind das **Magnetformverfahren** und das **Vakuumformverfahren**. Beim Magnetformverfahren wird Eisenpulver als Formstoff in Verbindung mit einem vergasbaren, d.h. in der Form verbleibenden Polystyrolschaummodell, durch ein starkes Magnetfeld verfestigt. Beim Vakuumformverfahren wird eine erhitzte und daher stark verformbare Kunststoffolie auf das Modell gesaugt, ein mit Vakuumanschlüssen versehener Formkasten aufgesetzt, binderfreier Quarzsand oder auch Zirkonsand o.a. eingefüllt, die Oberseite des Formkastens mit einer Kunststoffolie abgedeckt und der Kasten evakuiert. Der

Formkasten kann mit dem nun verfestigten Sand vom Modell abgehoben und mit dem ebenfalls evakuierten Gegenkasten verklammert werden.

Allgemein kann die Formherstellung in vier Abschnitte eingeteilt werden:

- Einformen des Modells und Herstellen der Kerne**
- Trennen von Modell und Form**  
Nicht erforderlich bei Verwendung vergasbarer Polystyrolschaummodelle (Vollformverfahren) sowie bei ausschmelzbaren oder herauslösbaren Modellen aus Wachs und Kunstharz oder Harzstoff wie bei dem Feingießverfahren.  
In der Regel werden Trennmittel aufgesprüht.
- Einlegen der Kerne**  
Formüberzugstoffe (Schichten, Formlacke) sind feuerfeste Stoffe, die als flüssige oder pastöse Substanzen durch Tauchen, Streichen, Fluten oder Sprühen aufgebracht werden und einen Schutzfilm auf Kernen oder Formen bilden.
- Zusammensetzen der Formteile  
(Zulegen, Verklammern, Beschweren)**

### 1.2.2 Handformverfahren

Es kommt vor allem bei großen Gußstücken und/oder niedrigen Stückzahlen in Frage.

### 1.2.3 Maschinenformverfahren

Es wird bei mittleren und größeren Gußstückserien von Klein- und Mittelguß angewendet. Die maschinell ausgeführten Arbeitsgänge der Formherstellung (Sandfüllen, Verdichten, Heben, Senken, Wenden, Umsetzen, Kerneinlegen, Zulegen, Übersetzen, Transportieren, Beschweren, Gießen, Ausleeren, Trennen, Reinigen) sind im Prinzip weitgehend die gleichen wie beim Handformen.

Den Aufbau einer Formanlage bestimmen im wesentlichen Gußprogramm, Seriengröße, Produktionsleistung und Raumverhältnisse. Formanlagen eignen sich nicht nur für ein Gußprogramm mit großen Stückzahlen, sondern – nicht zuletzt auch wegen des schnellen Modellplattenwechsels – ebenfalls für das vielseitige Programm einer Kundengießerei mit oft kleinen Serien. Es gibt mechanisierte, teilautomatisierte und vollautomatisierte Formanlagen.

### 1.2.4 Verfahren mit Dauerformen

Dauerformen sind durch ihre wiederholte Verwendbarkeit gekennzeichnet. Dauerformverfahren haben bei den vergleichsweise niedrigschmelzenden Nichteisenmetall-Gußwerkstoffen (wie Zink-, Magnesium-, Aluminium- und Kupferlegierungen) einen dominierenden Anteil an der Produktion übernommen. Das ist verständlich, da die Gießtemperatur und somit die thermische Beanspruchung der Form, die dem Verfahren Grenzen setzt, hier vergleichsweise niedrig ist.

Arten der Dauerformverfahren:

#### □ Kokillengießen

Bei diesem Verfahren wird eine ruhende Dauerform, meist aus Stahl oder Gußeisen, im allgemeinen drucklos, d.h. unter dem Einfluß der Schwerkraft, gefüllt. Die Gußstückgestalt ist durch die Form vollständig vorgegeben. Werden auch die Kerne zur wiederholten Verwendung aus **Kokillenmaterial**, z.B. aus Eisenwerkstoffen hergestellt, so spricht man von **Vollkokillen**. Durch Einlegen von Sandkernen (**Gemischtkokillen**) läßt sich vielfach eine höhere Gestaltungsfreiheit erzielen.

Beim **Niederdruck-Kokillengießverfahren** wird die Form sehr günstig über ein Steigrohr von unten durch einen geringen Überdruck von etwa 0,2 bis 0,8bar oder elektromagnetisch gefüllt. Nach einem ruhigen Füllen der Form läßt man das Gußstück unter Aufrechterhaltung des geringen Überdrucks erstarren.

#### □ Druckgießen

Bei diesem Verfahren wird das flüssige Gießmetall maschinell unter hohem Druck und mit großer Geschwindigkeit in eine sehr genau gefertigte metallische Dauerform (meist aus gehärtetem, legiertem, warmfestem Stahl) gepreßt. Dieser Druck wird bis zur beendeten Erstarrung aufrecht erhalten. Bei **Warmkammer-Maschinen** bilden Druckgießmaschine und Warmhalteofen eine Einheit. Die Taktfolge ist daher sehr hoch (z.B. bei rasch erstarrenden Kleinstteilen oft mehr als 1000 Abgüsse/h). Der Anwendungsbereich ist wegen der hohen thermischen Belastung von Druckkolben und Druckkammer auf niedrigschmelzende Legierungen, z.B. Zink-, Zinn-, Blei- und Magnesiumbasis, beschränkt. In der **Kaltkammer-Druckgießmaschine** (ungefähr 10 bis 300 Abgüsse/h), bei der Warmhalteofen und Gießmaschine getrennt sind, werden vor allem die höherschmelzenden Aluminium- und Kupferlegierungen (Messing) verarbeitet, nicht selten allerdings auch Magnesiumlegierungen, vor allem bei größeren Gußstücken.

Druckgußteile (dem Bedarf entsprechend aus Al-Legierungen z.Z. bis etwa 40kg und aus Mg-Legierungen bis etwa 15kg Stückgewicht), die wegen des außerordentlich hohen Aufwands für Maschinen und Formen nur bei großen Serien wirtschaftlich zu fertigen sind, zeichnen sich durch hohe Maßhaltigkeit und eine sehr gute Oberflächenbeschaffenheit aus. Der Putzaufwand ist gering. Die Nachbearbeitung beschränkt sich auf eng tolerierte Paßflächen und das Einschneiden von Gewinde, falls dies nicht bereits in einigen Sonderfällen als Grobgewinde oder als Einsatzteil mit eingegossen wurde. Der Material-

aufwand ist niedrig, zumal auch die Anwendbarkeit dieses Verfahrens auf Gußstücke mit verhältnismäßig dünnen Wandstärken beschränkt ist. Dickwandige Teile sind in Kokille oder Sandform abzugießen.

**Schleudergießen**

Bei diesem Verfahren wird das Gießmetall in eine um ihre Achse rotierende rohr- und ringförmige Kokille gefüllt, in der es unter Einwirkung der Zentrifugalkraft zu Büchsen, Ringen und Rohren (z.B. Druckrohren aus Gußeisen mit Kugelgraphit, Rohren aus Kupfer und Kupferlegierungen, Kolbenringen, Zylinderlaufbüchsen, Rippenzylindern) geformt wird. Beim **Schleuderformguß** wird die auf das Gießmetall wirkende Zentrifugalkraft in rotierende Formen zur besseren Formfüllung ausgenutzt.

**Stranggießen**

Dieses Verfahren ist ein kontinuierliches Gießverfahren zum Herstellen von Voll- und Hohlprofilen, deren Länge um ein Vielfaches größer ist als die meist wassergekühlte Kokille aus Metall oder die Kokillenform aus Graphit (z.B. bei Gußeisen sowie Kupfer und Kupferlegierungen). Die Schmelze wird in eine beidseitig geöffnete Kokille gegossen, die nur beim Angießen auf der Gegenseite geschlossen ist. In der Kokille kühlt die Schmelze gerade so weit ab, daß sich eine tragfähige Außenschale bilden kann. Der teilerstarre Strang wird dann horizontal oder vertikal bzw. im Kreisbogen, je nach Gießanlage, aus der Form abgezogen. Neben Halbzeug lassen sich so auch direkt einsetzbare Profile und Rohre herstellen.

**Verbundgießen**

Unter diesem Verfahren versteht man das Ein- oder Angießen von Teilen aus anderen Werkstoffen oder auch das Umgießen mit einem anderen Werkstoff aus funktionellen Gründen.

## 1.3 Vorbereitende und nachbehandelnde Arbeitsvorgänge

### 1.3.1 Erschmelzen von Gußwerkstoffen

Zum Überführen des Gießmetalls sowie der Zuschlagstoffe in den schmelzflüssigen Zustand stehen sehr verschiedenartige Schmelzaggregate – z.B. Schacht-(Kupol-), Tiegel- und Herdöfen – zur Verfügung, die mit Koks, Gas, Öl oder auch elektrischer Energie beheizt werden.

Wichtigste Schmelzaggregate sind für:

**Gußeisen und Temperguß:** Kupol-(Schacht-)Ofen, Induktionsofen

**Stahlguß:** Lichtbogenofen, Induktionsofen

**Nichteisenmetallguß:** Induktionsofen, elektrisch-, gas- oder ölbeheizter Tiegelofen

### 1.3.2 Putzen der Gußstücke

Zum Entleeren der Formen dienen **Ausleerrüttler** und zum Entfernen des Sandanhangs im allgemeinen Strahlputzanlagen, die durchwegs mit Stahlschrot oder Stahldrahtkorn arbeiten.

### 1.3.3 Wärmebehandlung

Zahlreiche Werkstoffe erhalten erst durch eine Wärmebehandlung die für ihren Gebrauch erforderlichen physikalischen und technologischen Eigenschaften. Hierzu sind elektrisch-, öl- oder auch gasbeheizte kontinuierlich oder auch diskontinuierlich arbeitende Öfen erforderlich. Ihre Größe ist auf die Gußstückgröße und -menge, ihre Arbeitsweise auf die verschiedensten Arten der Wärmebehandlung abgestimmt.

### 1.3.4 Kontroll- und Prüfverfahren

Die vielfältigen und mit dem technischen Fortschritt steigenden Beanspruchungen sowie der Trend zur Leichtbauweise und damit zur rationelleren Werkstoffausnutzung führen zwangsläufig zur Forderung nach hoher Gußstückgüte mit besonderer Betonung der Gleichmäßigkeit. Verfahrens- und Gußstückkontrollen beginnen mit der Überprüfung der metallischen und nichtmetallischen Einsatzstoffe und enden mit der Ausgangskontrolle der Gußstücke. In der Werkstoff- und Werkstückprüfung werden vor allem die zerstörungsfreien Prüfverfahren wie Röntgen-, Ultraschall-, Magnet- und Penetrationsverfahren angewandt. Für die zerstörenden Prüfverfahren wie Zug-, Kerbschlag- und Biegeversuch werden im allgemeinen getrennte oder am Gußstück angegossene Proben, in Ausnahmefällen auch Proben aus dem Stück selbst, verwendet.

## 2 EMISSIONEN UND ENERGIEEINSATZ IN GIEßEREIEN

## 2.1 Abluftemissionen

Die Emissionen sind von Gießerei zu Gießerei qualitativ und quantitativ sehr unterschiedlich.

**Staubemissionen** entstehen beim Formen, Ausleeren, Gußputzen, Sandaufbereiten und in geringem Umfang auch bei der Kernherstellung. Bei der Kernherstellung entstehen an **organischen Stoffen** der „Klasse I“ nach Punkt 3.1.7 der TA-Luft 86 vornehmlich Phenol, Formaldehyd sowie Amine, wie Triethylamin (TEA), Dimethylamin (DMEA) und Dimethylisopropylamin (DMIA), die zum Teil sehr geruchsintensiv sind, und als gasförmiger anorganischer Stoff der Nr. 3.1.6 Cyanwasserstoff.

Bei der Formherstellung mit **kunsthartzgebundenem Sand** entstehen ähnliche Emissionen wie bei der Kernherstellung.

Im **Gieß-, Kühl- und Ausleerbereich** sind die Konzentrationen dieser Stoffe wesentlich geringer als bei der Kern- und Formherstellung. Andererseits entstehen in diesem Bereich aufgrund der hohen Temperaturen und der reduzierenden Atmosphäre beim Gießen und Kühlen Reaktionsprodukte wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und Benzol (krebserzeugende Stoffe).

### 2.1.1 Emissionsquellen

Die folgenden Tabellen geben einen **qualitativen Überblick** über Art und Entstehungsort von Schadstoffen.

Schmelzanlagen:

| Schadstoff                  | Kupolofen | Elektrolichtbogen | Induktionsöfen |
|-----------------------------|-----------|-------------------|----------------|
| <b>Anorganische Stoffe:</b> |           |                   |                |
| Staub                       | x         | x                 | x              |
| Blei                        | x         | x                 | x              |
| Cadmium                     | x         | x                 | x              |
| Nickel                      | x         | x                 | x              |
| Chrom                       | x         | x                 | x              |
| Mangan                      | x         | x                 | x              |
| CO                          | x         | x                 |                |
| H <sub>2</sub> S            | x         |                   |                |
| SO <sub>2</sub>             | x         |                   |                |
| NO <sub>x</sub>             | x         | x                 | x              |
| HF                          | x         | x                 | x              |
| NH <sub>3</sub>             |           |                   |                |
| HCN                         |           |                   |                |

| <b>Organische Stoffe:</b> |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|
| Gesamt                    | x | x | x |
| Formaldehyd               |   |   |   |
| Phenol                    |   |   |   |
| Amine                     |   |   |   |
| Benzol                    |   |   |   |
| PAH                       |   |   |   |

## Kernmacherei:

| <b>Schadstoff</b>           | <b>Hot-Box</b> | <b>Croning</b> | <b>Cold-Box</b> |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| <b>Anorganische Stoffe:</b> |                |                |                 |
| Staub                       | x              | x              | x               |
| Blei                        |                |                |                 |
| Cadmium                     |                |                |                 |
| Nickel                      |                |                |                 |
| Chrom                       |                |                |                 |
| Mangan                      |                |                |                 |
| CO                          |                |                |                 |
| H <sub>2</sub> S            |                |                |                 |
| SO <sub>2</sub>             |                |                |                 |
| NO <sub>x</sub>             |                |                |                 |
| HF                          |                |                |                 |
| NH <sub>3</sub>             |                | x              |                 |
| HCN                         |                | x              |                 |
| <b>Organische Stoffe:</b>   |                |                |                 |
| Gesamt                      | x              | x              | x               |
| Formaldehyd                 | x              | x              |                 |
| Phenol                      | x              | x              | x               |
| Amine                       |                |                | x               |
| Benzol                      |                |                |                 |
| PAH                         |                |                |                 |

## Weitere Arbeitsvorgänge und eigentlicher Guß:

| Schadstoff                  | Sandaufbereitung | Formen, Gießen,<br>Kühlen, Ausleeren | Putzerei |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------------|----------|
| <b>Anorganische Stoffe:</b> |                  |                                      |          |
| Staub                       | x                | x                                    | x        |
| Blei                        |                  |                                      |          |
| Cadmium                     |                  |                                      |          |
| Nickel                      |                  |                                      | x        |
| Chrom                       |                  |                                      | x        |
| Mangan                      |                  |                                      | x        |
| CO                          |                  |                                      |          |
| H <sub>2</sub> S            |                  |                                      |          |
| SO <sub>2</sub>             |                  |                                      |          |
| NO <sub>x</sub>             |                  |                                      |          |
| HF                          |                  |                                      |          |
| NH <sub>3</sub>             |                  | x                                    |          |
| HCN                         |                  | x                                    |          |
| <b>Organische Stoffe:</b>   |                  |                                      |          |
| Gesamt                      |                  | x                                    |          |
| Formaldehyd                 |                  | x                                    |          |
| Phenol                      |                  | x                                    |          |
| Amine                       |                  | x                                    |          |
| Benzol                      |                  | x                                    |          |
| PAH <sup>1</sup>            |                  | x                                    |          |

<sup>1</sup> PAH's entstehen nicht beim Gießen von NE-Metallen

Vom Umweltbundesamt Berlin wurden 1987 die folgenden quantitativen Emissionsdaten für verschiedene Bereiche in Eisen-, Temper- und Stahlgießereien angegeben:

| Anlage<br>Schmelzleistung |    | Abgas<br>m <sup>3</sup> /h | Filter | Staub<br>mg/m <sup>3</sup> | SO <sub>2</sub><br>mg/m <sup>3</sup> | CO<br>mg/m <sup>3</sup> | NO <sub>x</sub><br>mg/m <sup>3</sup> | HF<br>mg/m <sup>3</sup> | O <sub>2</sub><br>% |
|---------------------------|----|----------------------------|--------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Heißwindkupol<br>20 t/h   | UG | 40000                      | D      | 5                          | 80                                   | 1000                    | 15                                   | -                       | 7                   |
| Heißwindkupol<br>25 t/h   | UG | 35000                      | V      | 36                         | 40                                   | 10-30                   | 23                                   | -                       | 7                   |
| Heißwindkupol<br>19 t/h   | UG | 29000                      | V      | 41                         | 19                                   | 16000                   | 19                                   | -                       | 12                  |
| Heißwindkupol<br>60 t/h   | UG | 75000                      | D      | 5                          | 81                                   | 12                      | 10                                   | -                       | 7                   |
| Kaltwindkupol<br>9 t/h    | UG | 22000                      | G      | 4                          | 67                                   | 11000                   | 38                                   | -                       | 14,6                |
| Kaltwindkupol<br>3,2 t/h  | OG | 12000                      | G      | 10                         | 300                                  | 3800                    | 12                                   | 1                       | 13,5                |
| Kaltwindkupol<br>8 t/h    | OG | 20000                      | G      | < 20                       | 300                                  | 700                     | 27                                   | -                       | 13,5                |
| Kaltwindkupol<br>5 t/h    | OG | 23000                      | G      | 6                          | 171                                  | 11250                   | 25                                   | -                       | 17                  |

| Anlage                  | Abgas<br>m <sup>3</sup> /h | Filter | Staub<br>mg/m <sup>3</sup> | Amine<br>mg/m <sup>3</sup> | Phenol<br>mg/m <sup>3</sup> |
|-------------------------|----------------------------|--------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Sandaufbereitung 80 t/h | 64000                      | V      | 4                          | -                          | -                           |
| Sandaufbereitung 11 t/h | 48000                      | N      | 7                          | -                          | -                           |
| Sandaufbereitung        | 57400                      | G      | 6                          | -                          | -                           |
| Gießerei-Ausleerstation | 51000                      | N      | 7                          | -                          | -                           |
| Gießerei-Ausleerstation | 50000                      | G      | 2                          | -                          | -                           |
| Putzerei                | 54000                      | G      | 5                          | -                          | -                           |
| Putzhaus (Strahlanlage) | 17000                      | G      | 4                          | -                          | -                           |
| Kernmacherei (Cold-Box) | 25000                      | S      | 0,4                        | 2,4                        | 0,5                         |

Erläuterungen:

|    |                     |
|----|---------------------|
| UG | Untergichtabsaugung |
| OG | Obergichtabsaugung  |
| D  | Desintegrator       |
| N  | Naßwäscher          |
| S  | Säurewäscher        |
| V  | Venturi             |
| G  | Gewebefilter        |

Aus den oben angegebenen Abgasvolumenströmen und Konzentrationswerten lassen sich dort, wo Anlagenkapazitäten angegeben sind, grobe **Emissionsfaktoren** ableiten.

Für den **anfallenden Staub** werden in der Literatur weiters folgende **spezifischen Anhaltswerte** angegeben (*ATV-Handbuch 1985* und *Baum 1988*):

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| Schachtofen     | 5 - 30kg/t Eisen  |
| Formstoffumlauf | 2 - 6kg/t Eisen   |
| Gußputzerei     | 0,5 - 1kg/t Eisen |

Für das **Verhältnis von Staub zu anorganischen und organischen Gasen** läßt sich mit dem *Luftreinhalteplan Berlin* aus den Jahresgesamtemissionen ein Durchschnittswert ableiten:

| Gesamtemission | Anorganische Gase | Org. Gase + Dämpfe | Staub  |
|----------------|-------------------|--------------------|--------|
| 963t/a         | 828t/a            | 22t/a              | 113t/a |
| 100%           | 86%               | 2,3%               | 11,7%  |

Bezüglich der **Geruchsemissionen** wird für eine **Leichtmetallgießerei** (Werk Untertürkheim der Mercedes-Benz AG) ein Rohgasstrom aus der Gießerei von 80000m<sup>3</sup>/h mit durchschnittlich etwa **1500GE/m<sup>3</sup>** (GE = Geruchseinheiten) und 140mg/m<sup>3</sup> an organischem Kohlenstoff aus aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen angegeben. Durch ein Biofilter konnte dabei eine Geruchsminderung mit einem Wirkungsgrad von über 80% erreicht werden.

**Gießereien für NE-Metalle** sind hinsichtlich der Prozeßtechnik und Betriebsweise **vergleichbar** mit Eisen-, Temper- und Stahlgießereien. Unterschiede bestehen hauptsächlich in bezug auf das Einsatzgut (der überwiegende Teil am Schmelzgut besteht aus NE-Metallen wie Aluminium, Blei, Kupfer, Zink, Zinn, auch in Form von Legierungen), der Schmelztechnik (z.B. in Induktionsöfen) und zum Teil in der Gießereitechnik (z.B. Wachsformen für Präzisionsguß).

### **2.1.2 Emissionsbegrenzungen**

In Österreich werden Emissionen über die „**Verordnung über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Gießereien**“, einer Verordnung zur Gewerbeordnung, Bundesgesetzblatt 447/1994, geregelt.

Darin enthält § 3 **Grenzwerte** für folgende Anlagen:

1. Gießereiöfen für Stahl oder Gußeisen
2. Gießereiöfen für Aluminium
3. Gießereiöfen für Blei
4. Gießereiöfen für sonstige Metalle
5. Wärmeöfen oder Wärmebehandlungsöfen für Metalle in Gießereien, soweit Abs. 2 nicht anderes bestimmt
6. Anlagenteile zur Sandaufbereitung, Formenherstellung sowie zum Putzen und Reinigen von Gußstücken
7. Anlagenteile zur Kernherstellung und für den Gießereibetrieb sowie nicht unter Z1 bis Z6 fallende Anlagenteile für sonstige Arbeitsbereiche
8. Unter Z1 bis Z7 fallende Anlagenteile, soweit in Z1 bis Z7 jeweils nicht anderes bestimmt ist.

Diese Regelung lehnt sich teilweise an die Festlegungen der TA-Luft 86 aus der BRD an.

In der **Bundesrepublik Deutschland** enthält die „**Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft**“ (TA-Luft), einer Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), aus dem Jahr 1986 einschlägige Grenzwerte.

Begrenzt werden beispielsweise:

- Gesamtstaub
- Anorganische Staubbestandteile
- Gasförmige anorganische Stoffe
- Organische Stoffe
- Krebserzeugende Stoffe

| Grenzwerte nach TA-Luft 86  | mg/m <sup>3</sup> |
|---|-------------------|
| <b>Gesamtstaub:</b>   |                   |
| - Erfassungsgebot   |                   |
| - Kupolofen mit Untergichtabsaugung   | 50                |
| - Kupolofen mit Obergichtabsaugung  | 20                |
| - Induktionsofen  | 20                |
| - Elektrolichtbogenofen   | 20                |
| - sonstige Anlage   | 50                |
| - bei Einsatz filternder Abscheider   | 20                |
| <b>Staubförmige anorganische Stoffe:</b>  |                   |
| - Klasse I, z.B. Cadmium  | 0,2               |
| - Klasse II, z.B. Arsen   | 1                 |
| - Klasse III, z.B. Blei, Zinn   | 5                 |
| <b>Gasförmige anorganische Stoffe:</b>  |                   |
| - Klasse II, z.B. Cyanwasserstoff, Fluor und Fluorverbindungen, Schwefelwasserstoff | 5                 |
| - Klasse III, z.B. Chlorverbindungen  | 30                |
| - Klasse IV, z.B. SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>                                 | 500               |
| - Kohlenmonoxid bei Heißwindkuppelöfen mit CO-Verwertung                            | 1000              |
| <b>Organische Stoffe:</b>   |                   |
| - Klasse I, z.B. Phenol, Formaldehyd, Amine   | 20                |
| dabei Amine   | 5                 |
| - Klasse II   | 100               |
| - Klasse III  | 150               |
| <b>Krebserzeugend Stoffe:</b>   |                   |
| - Klasse I, z.B. Benzo(a)pyren  | 0,1               |
| - Klasse II, z.B. Chrom(VI), Nickel   | 1                 |
| - Klasse III, z.B. Benzol   | 5                 |

## 2.2 Abwasser

In Gießereien fällt produktionsbedingtes Abwasser hauptsächlich an

- aus Abluft- und Abgasreinigungsanlagen
- aus Bodenreinigungsmaßnahmen (in einigen NE-Metallgießereien)
- aus Kreislaufkühlsystemen (z.B. Induktionsöfen, Kokillen)
- aus Nachbehandlungsverfahren (z.B. Schleifen)

Die Abwässer aus den **Naßwäschern** werden nach Abscheidung der schnellsedimentierbaren Stoffe im Kreislauf geführt und aus dem Kreislauf geringe Mengen abgeschlämmt und durch Frischwasser ersetzt. Dadurch wird eine zu hohe Aufsatzung des Waschwassers vermieden.

Der **Anfall an verschmutztem Abwasser** liegt nach dem *ATV-Handbuch 1985* bei ca. **3m<sup>3</sup>/t Guß**.

Auch in der **Formerei** fallen durch die Naßreinigung des Altsandes sowie durch Reste flüssiger Bindemittel Abwässer an. Weiters können noch **Kühlwässer** aus diversen Schmelzeinrichtungen und Kompressoren anfallen, die aber meist wenig oder nicht verunreinigt sind.

Abwasser aus Naßentstaubungsanlagen des Schmelzbetriebs enthält hauptsächlich **anorganische Feststoffe** wie SiO<sub>2</sub>, Eisenoxid, Aluminiumoxid, Calciumoxid. Schwermetalle – hauptsächlich Zink aus dem Einsatz von verzinkten Stahlblechen – kommen nur selten und in geringen Mengen vor.

Die Entstaubungsanlagen aus den übrigen Betriebsteilen enthalten unlösliche Feinanteile des Formstoffes mit geringen organischen Anteilen aus dem verwendeten Bindemittel. Die anorganischen Feststoffe sind teilweise feindispers verteilte Eisenoxide und Tone, die sich nur schwer abtrennen lassen.

## 2.3 Abfall

Die mengenmäßig bedeutendste Rolle spielen die **verbrauchten Gießerei-Altsande**, die nicht mehr in den Produktionsprozeß eingebracht werden können.

Die zu entsorgende Menge variiert sehr stark mit dem Grad der Wiedereinsetzung von Altsand.

Weitere feste Abfälle sind Filterstaub, Filterschlamm, Ofenschlacke, Ofenausbruch, Pfannenauskleidung sowie Putzereisande.

Als **sonstige Abfälle** fallen Chemikalien, Hilfs- und Betriebsstoffe, z.B. Altöle, an, die gesondert zu entsorgen sind.

## 2.4 Energieeinsatz

Von *Umbera* wurde an einem konkreten Fallbeispiel der Energieverbrauch einer Eisengießerei untersucht.

Monatlich werden 400-450t Eisen und Eisenschrott in 2 Elektroöfen eingeschmolzen. Das entspricht einer **Kapazität beider Öfen von in Summe 1-1,2t/h**.

Daraus resultieren monatlich 200-300t guter Guß, der Rest wird wieder eingeschmolzen.

Im **Glühofen** werden 50-100t/Monat einer Wärmebehandlung unterzogen.

*Leistungsdaten der Elektroöfen:*

|                       | Ofen 1 | Ofen 2 | Summe |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| Schmelzkapazität t/h  |        |        | 1,1   |
| Anschlußleistung kW   | 600    | 500    | 1100  |
| Schmelzleistung kW    | 550    | 480    | 1030  |
| Kühlwassereintritt °C | 35     | 35     | -     |
| Kühlwasseraustritt °C | 50     | 50     | -     |
| Kühlwassermenge m³/h  |        |        | 13    |

Bezogen auf eine mittlere Schmelzkapazität von insgesamt 1,1t/h entspricht das mit einer stündlichen Schmelzwärme von 1030kWh einem **spezifischen Energieeinsatz von 936kWh/t Schmelzgut.**

Der **Kühlwasserverbrauch** beträgt in Summe für beide Öfen 11-15m³/h, demnach **spezifisch ca. 12m³/t Schmelzgut.**

Im **Glühofen** werden monatlich ca. 7500m³ Gas verbrannt. Damit werden 50-100t Gußeisen geglüht (T > 800°C). Das entspricht einem **mittleren spezifischen Verbrauch von 100m³ Gas/t Gußeisen.**

Die effektive Kompressorleistung für die Druckluftversorgung beträgt 90kW.

Für die **Evaluierung des CO<sub>2</sub>-Äquivalentes** für den Einsatz der elektrischen Energie in den Schmelzöfen und des Gases im Glühofen wird mit folgenden spezifischen Werten umgerechnet (OECD-Mix für elektrischen Strom gemäß *Akademie der Wissenschaften*)

|  |
|--|
| <b>Elektrischer Strom – OECD-Mix</b>             |
| <b>0,400kg CO<sub>2</sub> / kWh<sub>el</sub></b> |

|                                    |
|------------------------------------|
| <b>Erdgas</b>                      |
| <b>187kg CO<sub>2</sub> / MWh</b>  |
| <b>0,01MWh / Nm³</b>               |
| <b>1,87kg CO<sub>2</sub> / Nm³</b> |

Mit 936kWh<sub>el</sub> / t Schmelzgut ergibt das spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen für diesen Betrieb von

**374kg CO<sub>2</sub> / t Schmelzgut**

und für den Glühofen mit einem mittleren spezifischen Verbrauch von 100m³ Gas/t Gußeisen

**187kg CO<sub>2</sub> / t Guß.**

Grundsätzlich fällt Abwärme hauptsächlich bei den Schmelzeinrichtungen und im Bereich der Gießstrecke an und wird oft nicht genutzt, sondern an die Umgebung abgegeben. Bei der Sandregenerierung fällt ebenfalls bei bestimmten Verfahren durch die Reibung der Sandkörner Abwärme an. Hitze stellt vor allem in Kombination mit der Schwere der Arbeit für die Arbeitnehmer eine besondere Belastung dar.

### **3 UMWELTRELEVANTE MAßNAHMEN**

---

*Umweltrelevant sind in Gießereibetrieben grundsätzlich vor allem folgende Bereiche:*

- *Auswahl von Einsatzstoffen*
- *Lagerung und Umgang mit wassergefährdenden Stoffen*
- *Verarbeitungsschritte, die Luft- und Abwasserprobleme verursachen*
- *Schutz der Beschäftigten und der Nachbarschaft vor Lärm*

### 3.1 Einsatzstoffe

- Da eine Substitution von quarzhaltigen Formstoffen bisher kaum möglich ist, sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen.
- Ersetzen von Asbestprodukten im Betrieb durch ungefährliche Stoffe.
- Auswahl der Fertigungsverfahren und Gießereichemikalien (z.B. Bindemittel)
  - a) Möglichst **kalte Verfahren** zur Kernherstellung einsetzen. Sofern heiße Verfahren eingesetzt werden, sollte die Anlage grundsätzlich gekapselt werden.
  - b) Einsatz **umweltschonender Verfahren**, z.B. Kohlensäure-Erstarrungsverfahren für die Fertigung von Kleinserien oder Verwendung von zementgebundenem Sand für große Gußteile.
  - c) Einsatz **emissionsarmer Bindemittel**, z.B.:
    - Furanharze für das Kaltharzverfahren mit Anteilen an freiem Formaldehyd unter 0,5 % (bezogen auf Festharz)
    - Phenolharze für das Croning-Verfahren mit Anteilen an freiem Phenol unter 0,2 % (bezogen auf Festharz). Das Harz ist dann nicht mehr kennzeichnungspflichtig gemäß GefStoffV in der BRD.
  - d) Folgende Kriterien können bei der Auswahl von Gießereichemikalien herangezogen werden:
    - hoher Flammpunkt
    - keine Kennzeichnung nach VbF oder Kennzeichnung nach Gefahrklasse A III oder B (BRD)
    - keine Kennzeichnung nach GefStoffV
    - kein TRK- oder MAK-Wert bzw. hoher MAK-Wert
    - niedriger Dampfdruck (entspricht hoher Verdunstungszahl)
- Verwendung der minimalen Menge an Bindemittel entsprechend den technischen Merkblättern:
  - eventuell durch Vorversuche (vor allem für die Großfertigung) die geringstmögliche Bindemittelmenge ermitteln.
  - automatische Dosierung, wo immer möglich.
  - Überwachung der Dosierung
- Beachtung der Temperaturvorschriften für Formsand und Bindemittel beim Mischen sowie bei der Form- und Kernherstellung. Zu hohe Mischungstemperaturen verursachen vermeidbare Schadstoffemissionen am Mischer. Zu niedrige Verarbeitungstemperaturen bei der Form- und Kernherstellung erfordern einen höheren Härter- oder Katalysatorverbrauch und führen somit zu erhöhten Schadstoffbelastungen an den Arbeitsplätzen.

Minimierung des Sandverbrauches:

Ziel muß es sein, mit einer Mindestmenge an bindemittelhaltigem Formsand auszukommen. Soweit möglich, sind Massivkerne durch Hohlkerne zu ersetzen. Falls erforderlich, könnte der Hohlraum mit binderfreiem Formsand ausgefüllt werden. Bei Einzelfertigungen sollten die Formkastenmaße durch die Gußstücke voll ausgenutzt werden. Gegebenenfalls sind alte Formbrocken oder Steine (sogenannte Sparkklötze) mit einzuformen, um bindemittelhaltigen Formsand zu sparen. Auch hierdurch wird die Entstehung von Schadstoffen verringert und durch Ersparnis an Formstoffen wirtschaftlicher produziert. Beim Kaltharzsand-Verfahren muß nur in Modellnähe Neusand verwendet werden, der mit bindemittelärmerem Formsand, z.B. Altsand, zu hinterfüllen ist.

Abbrennen der Gießgase:

Nach dem Abgießen der Form ist so früh wie möglich dafür zu sorgen, daß die Gießgase entzündet werden. Eine vollständige Verbrennung der entstehenden Gase wäre der Idealzustand für Abgießplätze und Ausleerstellen in den Gießereien. Auf jeden Fall sind die Gießgase gefahrlos abzuführen.

Beim Gießen von Großgußstücken, bei denen das Absaugen oder Abbrennen der entstehenden Gase nicht möglich ist, muß dafür gesorgt werden, daß die dort beschäftigten Personen die Abgießstelle verlassen.

Verbesserung der Sandregenerierung:

Bei der Sandregenerierung sind so viele Störstoffe (z.B. Binderhüllen, Hartbentonit) wie möglich aus dem Altsand zu entfernen. Dazu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung (z.B. mechanische, mechanisch-pneumatische und mechanisch-thermische Verfahren). Bei einem sorgfältig regenerierten Sand ist ein geringerer Bindemittelzusatz und damit wiederum eine Verminderung der Schadstoffbelastung möglich.

### 3.2 Abluffemissionen

Die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen ist am wirkungsvollsten, wenn die Entstehung luftverunreinigender Stoffe von vornherein vermieden oder minimiert wird.

Primärmaßnahmen:

Am Anfang der grundsätzlichen Anforderungen zur Emissionsbegrenzung steht das Vermeidungs- und Minimierungsgebot.

Dazu gibt es zwei prinzipielle Möglichkeiten, nämlich:

a) die Einsatzstoffe gezielt auszuwählen

b) in den Produktionsprozeß einzugreifen:

- Verfahrensoptimierung, z.B. weitgehende Ausnutzung von Einsatzstoffen und Energie (Auswahl von Schmelzaggregaten und Brennern)
- Optimierung von An- und Abfahrvorgängen und sonstigen besonderen Betriebszuständen
- Auswahl der geeigneten Schmelzanlage (durch den Einbau aufwendiger Nebeneinrichtungen geht z.B. der wirtschaftliche Vorteil des Kupolofens teilweise verloren, Übergang zum Induktionsofen, der praktisch abgasfrei arbeitet)
- beim Schmelzen im Kupolofen Auswahl des geeigneten Ofens (Größe der Schmelzleistung, Wirtschaftlichkeit)
- Ausrüstung von Kaltwindkupolöfen mit Untergichtabsaugung (Abgaswärmenutzung)
- Erzeugung möglichst geringer Abgasmengen, z.B. durch Einsatz von Ventilatorantrieben mit Regelung in Abhängigkeit von Chargenverlauf und Abgasanfall
- Ausschleusung störender Komponenten in geeigneten Prozeßstufen z.B. bei der Raffination
- Verbesserung und Weiterentwicklung von Schmelzaggregaten (z.B. Aufbereitung von Einsatzstoffen und deren Einsatz in Syphonwannenöfen (Schmelzen ohne Salzdecke, Schrottvorwärmung bis 400° C, Abgasnachverbrennung)
- Auswahl geeigneter Raffinationsverfahren
- Optimierung der Sprühtechnik beim Auftrag der Trennmittel
- Umstellen von Vertikal- auf Horizontaldruckmaschinen, falls technisch möglich.

Erst wenn diese Maßnahmen nicht zum Ziel führen, sind Abgasreinigungseinrichtungen vorzusehen (Sekundärmaßnahmen).

Sekundärmaßnahmen

- Maßnahmen zur Reinigung von Abgasen aus Öfen und aus Umschmelzanlagen:

| Anlagen  | Maßnahmen  |
|--|--|
| <p>Elektrolichtbogenöfen<br/>Primärquellen<br/>(Ofenabgase)</p> <p>Sekundärquellen<br/>(Chargieren, Abgießen)</p>  | <p>Absaugung über Hauben und anschließende Entstaubung in Gewebefiltern</p> <p>Wirkung von Hauben nur ungenügend.</p> <p>Zusammen mit Primärquellen Einhausung, Teileinhausung, dann Reinigung der Abgase in Filtern.</p>  |
| Induktionsöfen   | <p>Maßnahmen wie Elektrolichtbogenöfen.</p> <p>Randabsaugungen und Hauben zur Abgaserfassung erforderlich.</p>   |
| ESU-Anlagen  | Abgasentstaubung in Naßabscheidern oder Gewebefiltern mit vorgeschalteter Trockenabsorption (Zugabe von basischen Stoffen wie Kalkhydrat zur Abscheidung gasförmiger anorganischer Fluorverbindungen).   |
| <p>Kupolöfen</p> <p>Kaltwindkupolöfen<br/>Schmelzleistung ≤ 10 t/h<br/>Obergichtabsaugung und<br/>Untergichtabsaugung</p> <p>Heißwindkupolöfen<br/>Schmelzleistung &gt; 10 t/h<br/>Untergichtabsaugung</p> | <p>Anordnung des Entstaubens bei Kalt- und Heißwindkupolöfen. Zuleitung von Abgasen aus der Kernmacherei zur Kupolofenanlage.</p> <p>Abgasreinigung in Gewebefiltern (auch nachträglich Einbau möglich)</p> <p>Ergänzung des Abscheidesystems durch Trockenadsorption zur Abscheidung gasförmiger anorganischer Verbindungen (HF, SO<sub>2</sub>).</p> <p>Abgasreinigung in Naßwäschern wie Desintegratoren oder Hochleistungs-Venturi zur Entstaubung und Abgasreinigung (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S- und HF-Entfernung).</p> <p>Verbrennung des CO und organischer Verunreinigungen im Rekuperator zur Heißwinderzeugung.</p> <p>Zusätzlich Waschflüssigkeits- und Schlammbehandlung erforderlich.</p> |
| Umschmelzanlagen für Aluminium   | <p>Absaugung der Abgase von Aufbereitungsanlagen für Krätze und Späne mit anschließender Entstaubung in filternden Abscheidern (Gewebefilter)</p> <p>Einsatz der thermischen Nachverbrennung für Abgase aus Entlackungs- und Spänetrocknungsanlagen</p> <p>Wegen Verunreinigung der Abgase durch Chlor- und Fluorverbindungen Anwendung der Trockenabsorption (Zudosierung von Kalkhydrat in das Abgas) mit anschließender Reinigung in filternden Abscheidern (Gewebefiltern)</p>   |

- Maßnahmen zur Minimierung der Staubentwicklung staubender Güter beim Umschlag, Transport und Lagerung von Einsatzstoffen, z. B.:
  - a) geschlossene Einrichtungen für den Transport und die Lagerung
  - b) Erfassung an der Entstehungs- oder Austrittsstelle mittels Hauben und Einhausungen

- Der Einsatz von handgeführten Bearbeitungsmaschinen mit integrierter Absaugung ist der Absaugung des Arbeitsplatzes vorzuziehen.
- Absaugung schadstoffbelasteter Abgase, z.B.
  - c) über Hauben, Teil- oder Volleinhausungen in den Bereichen Formerei, Kernmacherei und Sandaufbereitung mit anschließender Reinigung in geeigneten Abscheidern.
  - d) bei Öfen Erfassung über Oberhauben oder durch in den Ofendeckel integrierte Absaugung.
  - e) Erfassungshauben über Druckgießanlagen und Abscheidung.
  - f) Integration der Absaugung in die Form.
- Einsatz von filternden Abscheidern (z.B. Gewebe-, Schlauch- und Flächenfilter) bei Schmelzanlagen. Gegebenenfalls Massenkraftabscheider (mechanische Belastung durch schleißende Stäube) Kühler (Brandgefahr durch Funkenflug) vorschalten.
- Beim Auftreten folgender Stäube sind Naßabscheider erforderlich:
  - Brennbare und explosible Leichtmetallstäube (Aluminium, Magnesium, Titan und deren Legierungen)
  - Stäube, die bei funkenreißenden Verfahren entstehen.
  - Stäube in Transportluft mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit, z.B. aus Trocknungsprozessen
  - Stäube, die in Wasser dispergiert, erneut einem Verfahrensprozeß zugeführt werden können (Recycling)
  - Stäube, die zusammen mit Kühlschmierstoffaerosolen abgesaugt werden.
- Abscheidung von Gasen und Dämpfen mit geeigneten Methoden, wie beispielsweise:
  - g) Chemische Wäscher. Chemische Wäscher werden dort eingesetzt, wo einzelne definierte Stoffe zu reinigen sind, z.B. Abscheidung von Aminen in Säurewäschern. Sie werden auch zur Abscheidung anorganischer Gase eingesetzt, z.B. (Abscheidung von Schwefeldioxid aus der Kernherstellung (SO<sub>2</sub>-Verfahren) in alkalischen Wäschern.
  - h) Biologische Wäscher. Biologische Wäscher kommen beispielsweise für die Reinigung phenolhaltiger Abluft aus Croningkernmachereien und für die Abscheidung von Alkoholdämpfen aus Feingießereien zum Einsatz.
  - i) Biofilter. Sie benötigen zwar viel Platz, erzeugen aber weder Abwasser, noch Reststoffe, außer der nach einigen Jahren zu erneuernden Filterschicht. Biofilter sind relativ neu auf dem Markt.
  - j) Adsorptionsverfahren, z.B. Abscheidung von Benzol in Aktivkohlefiltern.
  - k) Thermische oder katalytische Nachverbrennung. Thermische Nachverbrennung ist nur sinnvoll, wenn hohe Konzentrationen vorliegen und wenn Abwärmenutzung möglich ist; Katalytische Nachverbrennung ist nur anwendbar, wenn das Abgas keine Katalysatorgifte (z.B. Schwermetalle) enthält. Da diese Voraussetzungen in Gießereien häufig nicht zutreffen, sind die Verfahren a, b, c und d zu favorisieren.
- Vermeidung von Luftquerströmungen in Hallen (Störung der Absaugung).
- Zusammenführen von Abgasströmen mehrerer Quellen und gemeinsame Behandlung.

### 3.3 Abwasseremissionen

Eine umweltgerechte Abwasserwirtschaft heißt mit erster Priorität Vermeidung und Verringerung von Abwässern, mit zweiter Priorität Verwertung von Reststoffen aus Abwässern und darüber hinaus eine Behandlung der Abwässer nach dem Stand der Technik (bei Vorliegen gefährlicher Stoffe) bzw. nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (bei allen anderen Stoffen). In der nachstehenden Tabelle sind einige Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung von Abwässern dargestellt:

| Abwasserherkunft  | Maßnahmen  |
|---|--|
| aus Naßabscheidern bei der Herstellung von Kernen mit organischen Formstoffbindemitteln | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bevorzugung von Biowäschern gegenüber chemischen Wäschern, falls technisch möglich (Einsatz z.B. zur Abscheidung von Phenolen aus Croning-Kernmachereien und von Alkoholen aus Feingießereien).</li> <li>2. Einsatz von Säurewäschern (Biowäscher sind weniger günstig, da teuer und störanfälliger) für Amingase (z.B. beim Cold-Box-Verfahren) und Aufarbeitung der mit Aminen beladenen Waschflüssigkeit.</li> <li>3. Sparsamer Einsatz von Chemikalien bei der Naßwäsche.</li> <li>4. Kreislaufführung von Waschflüssigkeit spart Wasser und Chemikalien.</li> </ol> |
| Bodenreinigung (in einigen NE-Metallgießereien)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zur Reinigung des Bodens der Industriehallen sollte möglichst wenig Wasser eingesetzt werden. Vor der Naßreinigung sollte der Boden abgekehrt oder, bei Vorliegen gefährliche Stäube, mit geeigneten Staubsaugern abgesaugt werden.</li> <li>2. Wassergefährdende Flüssigkeiten sollten mit einem geeigneten Bindemittel entfernt werden. Geeignete Bindemittel können sein: Mergel, Kalk, Ölbinder.</li> <li>3. Für CKW und CKW-haltige Einsatzstoffe eignen sich Blähglimmer und Kieselgur.</li> </ol>   |

Darüber hinaus gibt es Möglichkeiten, im Bereich der Luftreinhaltung auf eine eventuell erforderliche Naßabscheidung zu verzichten und dabei auch Abwässer zu vermeiden:

- Einsatz von möglichst emissionsarmen Bindersystemen. Dadurch ist es heute möglich, auf eine Abluftreinigung zu verzichten und Abwässer aus Naßabscheidern zu vermeiden.
- Bevorzugung von kalthärtenden Verfahren bei der Form- und Kernherstellung. Reinigungsanlagen, z.B. Naßabscheider, sind bei heißhärtenden Verfahren häufig erforderlich. Bei Begasungsverfahren sind Naßabscheider fast ausnahmslos erforderlich.
- Einsatz umweltschonender (abwasserloser) Kernherstellungsverfahren, z.B. Begasen von Silikaten mit Kohlendioxid (Wasserglasverfahren), falls möglich.
- Einsatz von (abwasserlos arbeitenden) Biofiltern (um biologische Verfahren einsetzen zu können, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein: Die Abluftkomponenten müssen biologisch abbaubar sein, die Ablufttemperaturen müssen zwischen 5° C und 60° C liegen und die Abluftinhaltsstoffe müssen wasserlöslich sein).

### 3.4 Abfälle

Folgende Möglichkeiten bieten sich zur Vermeidung und Verringerung von Abfällen in Gießereien:

- Reststoffarmes Formverfahren
- Weitgehend geschlossener Formstoffkreislauf durch Einsatz von Regenerierverfahren
- Einsatz von Formstoffzusätzen (insbesondere Glanzkohlenstoffbildnern) beim Eisenguß, die möglichst wenig polycyclische aromatische Verbindungen (PAK) im Altsand verursachen.
- Getrennte Sammlung sämtlicher in der Gießerei anfallenden Reststoffe (z.B. Sand, Metalle, Lösemittel). Getrennte von Altölen.
- Strahlmittelkreisläufe bei der Nachbehandlung von Gußteilen.

Die Altsande fallen u.a. an

- a) bei der Trennung des Rohgußteiles von der Form bzw. beim Entkernen
- b) beim Entfernen des Sandanhanges in Strahlputz- und Putzanlagen
- c) als Unterkorn an Sandaufbereitungs- und Regenerieranlagen
- d) als Überlaufsand, der dem Sandsystem als Ausgleich für einen Neusandzulauf entzogen wird.

Der Altsand besteht im allgemeinen aus ton- und kunstharzgebundenen Altsand- und Neusandteilen, den eingesetzten Zusatzstoffen wie Härter, Katalysator, Glanzkohlenstoffbildner, Formlack, Kleber, den metallischen Resten sowie den aufgrund des thermischen Prozeßablaufs beim Gießen aus den organischen Inhaltsstoffen entstandenen Reaktionsprodukten (z.B. polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen).

Der jährliche Bedarf an Form- und Kernsand wird zu ca. 95% aus Umlaufsand und Regeneraten gedeckt; aus technologischen Gründen muß ein Formstoffsystem ständig mit Neusand aufgefrischt werden. Eine hohe Altsandmenge wird deponiert.

Bei reststoffarmen Formverfahren wird der Formsand nicht chemisch gebunden, sondern physikalisch verdichtet, wodurch nur geringe Sandverluste auftreten und der Formstoff nicht in seiner Qualität beeinträchtigt wird. Ein physikalisches Verdichtungsverfahren ist beispielsweise das Vakuumformverfahren.

Eine Verminderung des Aufkommens an Alt- und Kernsand wird erreicht durch:

- a) Übergang auf Dauerformen (z.B. Kokillen- und Druckguß) bei möglichst sparsamer Verwendung von Sandkernen
- b) Einsatz des Vollformgießverfahrens
- c) Einsatz von Maskenformen und -kernen statt Massivformen. Maskenformen kommen in den Großserienfertigung zum Einsatz
- d) Optimale Volumenausnutzung des Formkastens bei kastengebundenen Formen
- e) Verminderung des Kernvolumens durch Aussparung und durch Maskenhohlkerne
- f) Optimale Ballendicke bei kastenlosen Formen.

## 4 QUELLEN

- P. Davids, M. Lange: Die TA Luft '86 - Technischer Kommentar; VDI Verlag Düsseldorf 1986
- F. Baum: Luftreinhaltung in der Praxis; Oldenbourg Verlag München 1988
- Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau; Springer - Verlag Berlin 1981
- Umbera Ges. m. b. H., ACETEC: Ganzheitliche Lösungsansätze für umweltverträgliche Gießereien; erstellt im Auftrag des BMfWF, St. Pölten und Wien 1992
- Integrierter Umweltschutz in einer Messinggießerei; Umwelt Nr. 1/1995
- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg: Betrieblicher Umweltschutz, Heft 12, Eisen-, Temper-, Stahl und Nichteisenmetallgießereien; Stuttgart 1991
- R. Schimberg et. al.: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und andere Schadstoffe aus Gießereiformsanden mit verschiedenen Kohlenstoffträgern; Staub - Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 6 Juni
- D. Michel: Umweltschutz-Maßnahmen in der Gießerei eines Pumpenherstellers; wlb >>wasser, luft und betrieb<< 6/87
- Wirkungsvolle Gießerei-Entstaubung; UMWELTMAGAZIN - Mai 1990
- Regenerierung von Gießerei-Altsanden; UMWELTMAGAZIN - September 1992
- Abwassertechn. Vereinigung e.V.: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik; Wilhelm Ernst & Sohn Verlag Berlin 1985
- Emissionsminderung in Eisen-, Temper- und Stahlgießereien; Umwelt Nr. 3 vom 29. Mai 1987
- Verein Deutscher Giessereifachleute: Einsatzmetalle und Arbeitsstoffe in Gießereien - Gesundheitseinflüsse und Schutzmaßnahmen; Giesserei-Verlag GmbH Düsseldorf 1985
- Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz: Luftreinhalteplan für das Belastungsgebiet Berlin 1986 bis 1993; Berlin 1987
- Biofilter bekämpfen Gießerei Gerüche; UMWELTMAGAZIN - November 1993
- M. Böckler-Klusemann et. al.: Messungen in Gießereien - Einsatz von direktanzeigenden, kontinuierlichen Meßsystemen zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration von silikogenen Stäuben; Staub-Reinhaltung der Luft 52 (1992) 273-277
- R. Schwimberg et. al.: Profilanalyse von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Eisengießereien; Staub-Reinhaltung der Luft Bd. 38 (1978) Nr. 7 Juli Seite 273-276
- W. Coenen: Expositionssituation in Gießereien; Staub-Reinhaltung der Luft 48 (1988) 189-195
- R. Schimberg et. al.: Belastung von Eisengießereiarbeitern durch mutagene polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; Staub-Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 11 November
- Regenerierung von Gießerei-Altsanden; UMWELTMAGAZIN - August 1991
- Österreichische Akademie der Wissenschaften: Technikbewertung des E-Mobils; Wien 1993

## **5 DARSTELLUNG EINER WALZENGIEßEREI MIT AUDIT**

---

*Variante Walzen*

## 5.1 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens

Im vorliegenden Betrieb, dessen Produktionsdaten für das abgelaufene Geschäftsjahr erhoben und mit AUDIT verarbeitet wurden, werden hauptsächlich Walzwerkwalzen für die Stahl-, Eisen-, Nichteisen-, Kunststoff- und Papierindustrie sowie Preßkolben und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung abgebrannter Kernbrennstäbe hergestellt.

Die Produktpalette erstreckt sich über Block-, Knüppel-, Kalibervor-, Kaliberfertig-, Universal-, Feineisen-, Drahtvor- und Drahtfertigwalzen sowie Rollen und Sonderwalzen für Profilmwalzwerke.

Für Flachwalzwerke werden unter anderem Brammen-, Warmbandvorgerüst-, Warmbandfertiggerüst-, Warmstütz-, Kaltstütz- und Kaltarbeitswalzen hergestellt.

Die letzte Jahresproduktion lag bei 16000 Tonnen Fertiggewicht, wobei Walzen mit Stückgewichten zwischen 4 und 400 Tonnen Fertiggewicht gegossen wurden. Der Schwerpunkt der Erzeugnisse liegt bei einem Stückgewicht von ca. 15 Tonnen.

Als Rohstoffe für die im



hergestellten Gußteile werden folgende ausgesuchte, trockene und saubere Komponenten eingesetzt.

- Schrott (unlegiert, niedrig-, leicht- bis hochlegiert)**
  - Stahlschrott
  - Kupolofenschrott
  - Tiefziehschrott
- Altwalzen**
- Kreislaufmaterial**
  - Späne
  - Stückschrott
- Graphit**
- Legierungszuschlagstoffe**
  - Silizium
  - Mangan
  - Chrom
  - Nickel
  - Molybdän
  - Aluminium usw.
- Stahlwerkserz**
- gebrannter Kalk usw.**

Diese Materialien werden nach Art, Güte und Qualität getrennt gelagert.

Die Zuschlagstoffe und Legierungsmittel werden dem flüssigen Schmelzbad zugegeben. Um überschüssigen Kohlenstoff und Eisenbegleiter zu oxidieren, wird mittels einer Sauerstofflanze Sauerstoff in das flüssige Bad eingeblasen.

Schleifabrieb und Filterstaub, welche ebenfalls wieder in den Schmelzprozeß eingesetzt werden, dürfen pro Charge einen Anteil von 5% nicht überschreiten. Der Anteil an sauberen Spänen kann jedoch bis zu 100% in einer Charge betragen.

Zum Einschmelzen der Rohstoffe kommen vier Elektro-Lichtbogen-Schmelzöfen mit einer maximalen Schmelzleistung zwischen 19 und 60t/Charge bzw. zwei Netzfrequenz-Induktions-Tiegel- Schmelzöfen mit 3 bis 12t/Charge Schmelzleistung zum Einsatz.

Beim Elektrolichtbogenofen wird, durch den zugeführten Strom, zwischen den Graphit-elektroden und dem metallischen Einsatz ein Lichtbogen erzeugt, der das Einsatzmaterial zum Schmelzen bringt. Durch die hohe Temperatur verbrennen die im Schrott enthaltenen brennbaren Komponenten unter Schmelzrauchentwicklung (enthält Eisenoxide). Die Schmelzrauchentwicklung tritt besonders stark auf, wenn beim Frischen (Kohlenstoffoxidation) Sauerstoff (gasförmig) zugesetzt wird. Der Sauerstoffzusatz wird jedoch zum Erreichen höherer Schmelztemperaturen bzw. Ofenleistungen benötigt.

Die Induktionsöfen, deren prinzipieller Aufbau dem eines Transformators gleicht, werden größtenteils bei der Herstellung hochlegierter Stähle und Gußeisenlegierungen eingesetzt. Dabei wird durch den, im Sekundärstromkreis induzierten Strom Wärme erzeugt. Der während der Ofenbeschickung ablaufende Schmelzvorgang ist vergleichsweise schonend und emissionsarm.

Die an den Elektro- und Induktionsöfen, den Abschlack- und Behandlungsplätzen (Sphäroguß) bzw. bei der Sekundärmetallurgie entstehenden Hüttenrauche werden über eine Schlauchfilteranlage (mit einer Absaugleistung von max. 950000m<sup>3</sup>/h) abgesaugt.

Die primären Abgase der 4 Elektrolichtbogenöfen werden direkt am vierten Deckelloch abgezogen. Um die Emittierung von CO zu unterbinden, wird in der Rohrleitung über einen Spalt Luft angesaugt (mindestens 4-facher Luftüberschuß), damit die Nachverbrennung zu CO<sub>2</sub> sichergestellt ist.

Die Sekundärgase an den Elektroöfen, den Induktionsöfen und den Behandlungsplätzen (entstehen durch das Beschicken, Schmelzen, beim Abstich, beim Entleeren, bei der Pfannenbehandlung, beim Abschlacken, beim Legieren) werden durch die Dachhaube oder durch Schwenkhauben abgezogen. Die staubhaltige Luft wird über die Schlauchfilter geführt, wobei der im Filter abgeschiedene Staub in Staubsammelbunkern gelagert wird. Die an die Umgebung abgegebene Luft besitzt eine Konzentration von ca. 1,5mg/m<sup>3</sup>.

Eine genauere Beschreibung der Vorgänge in den einzelnen Anlagen wird bei der Prozeßbeschreibung (Umsetzen der realen Vorgänge in einer Anlage, in Prozeßvorschriften – Gleichungen – einer AUDIT Anlage) in Kapitel 5.3 Prozeßvorschriften, Seite 45 gegeben.

## 5.2 Notwendige Eingabedaten

### 5.2.1 Stammdaten – Variantendaten

Tab. 5.2.1 Die wesentlichen Variantendaten

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| Betrachtungszeiteinheit [ZE]:   | Jahr          |
| Bilanzierungszeiteinheit [BZE]: | Jahr          |
| Umrechnungsfaktor [BZE] → [ZE]: | 1             |
| Gültig von:                     | 1994 bis 2004 |

### 5.2.2 Stammdaten – Stoffdaten

Tab. 5.2.2 Stofftabelle

| Nr. | Stoffname           | Kurzname | Stofftyp    | Stoffeinheit |
|-----|---------------------|----------|-------------|--------------|
| 1   | Altsand             | altsa    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 2   | Altöl               | altöl    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 3   | Argon               | Ar       | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 4   | Ausbruch_GI         | ab_GI    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 5   | Ausbruch_GL         | ab_GL    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 6   | Ausbruch_SB         | ab_SB    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 7   | Deponiemüll         | depm     | Abfallstoff | Masse/t      |
| 8   | Deponiemüll1        | depm1    | Abfallstoff | Masse/t      |
| 9   | Eisen, flüssig      | eiflü    | Rohstoff    | Masse/t      |
| 10  | Eisen, flüssig1     | eifl1    | Rohstoff    | Masse/t      |
| 11  | Energie, elektrisch | enel     | Hilfsstoff  | Energie/MWh  |
| 12  | Feuerfestmaterial   | ffmat    | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 13  | Formkästen          | fkä      | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 14  | Formkästen_E        | fkä_E    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 15  | Formkästen_KOKIB    | fkä_K    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 16  | Formkästen_neu      | fkä_n    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 17  | Formsand            | fosa     | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 18  | Harz                | harz     | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 19  | Hilfsmittel         | hilf     | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 20  | Kokillen            | kokil    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 21  | Kokillen_E          | kok_E    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 22  | Kokillen_KOKIB      | kok_K    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 23  | Kokillen_neu        | kok_n    | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 24  | Kühl/Schmierstoffe  | küsm     | Hilfsstoff  | Masse/t      |

| Nr. | Stoffname                  | Kurzname | Stofftyp      | Stoffeinheit   |
|-----|----------------------------|----------|---------------|----------------|
| 25  | Kühl/Schmierstoffe, verbr. | küsmv    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 26  | Legierungsmittel           | legmi    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 27  | Luft                       | luft     | Hilfsstoff    | Volumen/Mio m3 |
| 28  | Luft_gereinigt             | luftg    | Hilfsstoff    | Volumen/Mio m3 |
| 29  | Luft_s                     | lufts    | Hilfsstoff    | Volumen/Mio m3 |
| 30  | Prozeßenergie              | proen    | Energieträger | Energie/MWh    |
| 31  | Putzreste                  | putzr    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 32  | Putzwolle                  | putzw    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 33  | Resteisen                  | reste    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 34  | Restmüll                   | rm       | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 35  | Restmüll_FO                | rm_FO    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 36  | Restmüll_GI                | rm_GI    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 37  | Restmüll_GL                | rm_GL    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 38  | Restmüll_MB                | rm_MB    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 39  | Restmüll_PSM               | rm_PS    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 40  | Rohwalzen                  | rohwa    | Produkt       | Masse/t        |
| 41  | Sauerstoff                 | O2       | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 42  | Schlacke                   | schla    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 43  | Schleifschlamm             | sschl    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 44  | Schlichte                  | schli    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 45  | Schrott                    | schro    | Rohstoff      | Masse/t        |
| 46  | Sickerwasser               | sickw    | Abfallstoff   | Volumen/m3     |
| 47  | Späne                      | span     | Rohstoff      | Masse/t        |
| 48  | Staub                      | staub    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 49  | Staub_Abluft               | st_al    | Schadstoff    | Masse/t        |
| 50  | Staub_ENTST                | st_ES    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 51  | Staub_PSM                  | st_PS    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 52  | Verbrauchsmaterial         | verbm    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 53  | Vernetzer                  | verne    | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 54  | Verpackungsabfall          | vpa      | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 55  | Verpackungsabfall_FO       | va_FO    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 56  | Verpackungsabfall_GI       | va_GI    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 57  | Verpackungsabfall_GL       | va_GL    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 58  | Verpackungsabfall_MB       | va_MB    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 59  | Verpackungsabfall_SB       | va_SB    | Abfallstoff   | Masse/t        |
| 60  | Verpackungsmaterial        | vpma     | Hilfsstoff    | Masse/t        |
| 61  | Walzen                     | walz     | Produkt       | Masse/t        |
| 62  | Walzen, fertig             | wafe     | Produkt       | Masse/t        |
| 63  | Walzen, geglüht            | waglÜ    | Produkt       | Masse/t        |
| 64  | Walzen, GL-PSM             | wgl-p    | Produkt       | Masse/t        |

| Nr. | Stoffname          | Kurzname | Stofftyp    | Stoffeinheit |
|-----|--------------------|----------|-------------|--------------|
| 65  | Walzen, PSM-GL     | wp-gl    | Produkt     | Masse/t      |
| 66  | Walzen, vorgedreht | wavor    | Produkt     | Masse/t      |
| 67  | Walzenformen       | walz     | Hilfsstoff  | Andere/Stk   |
| 68  | Wasser             | was      | Hilfsstoff  | Volumen/m3   |
| 69  | Zunder             | zund     | Abfallstoff | Masse/t      |
| 70  | Öl                 | öl       | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 71  | Öl_Bindemittel     | ölin     | Hilfsstoff  | Masse/t      |
| 72  | ÖVB                | övb      | Abfallstoff | Masse/t      |

### 5.2.3 Das Fließbild

Im folgenden Fließbild (Abb. 5.2.1 Fließbild zur Variante WALZEN) wird die Walzengießerei schematisch dargestellt. Zu allen Anlagen – abgebildet als Black-Box – werden der Kurzname (vergleiche Tab. 5.2.3, Tab. 5.2.4 und Tab. 5.2.1) und die Anlagenkurzbezeichnung eingetragen.

Bei der Anlagenkurzbezeichnung stehen

- In für Inputanlage,
- Out für Outputanlage und
- RUmw für Umwandler.

Die einzelnen Ströme sind ebenfalls durch ihre Kurzbezeichnung (siehe Tab. 5.2.6, Tab. 5.2.7 und Tab. 5.2.8) gekennzeichnet.

In derselben Weise wird bei den anderen Fließbildern – Abb. 6.2.1 Fließbild zur Variante ALU4GUSS und Abb. 7.2.1 Fließbild zur Variante FE8 – auch verfahren.

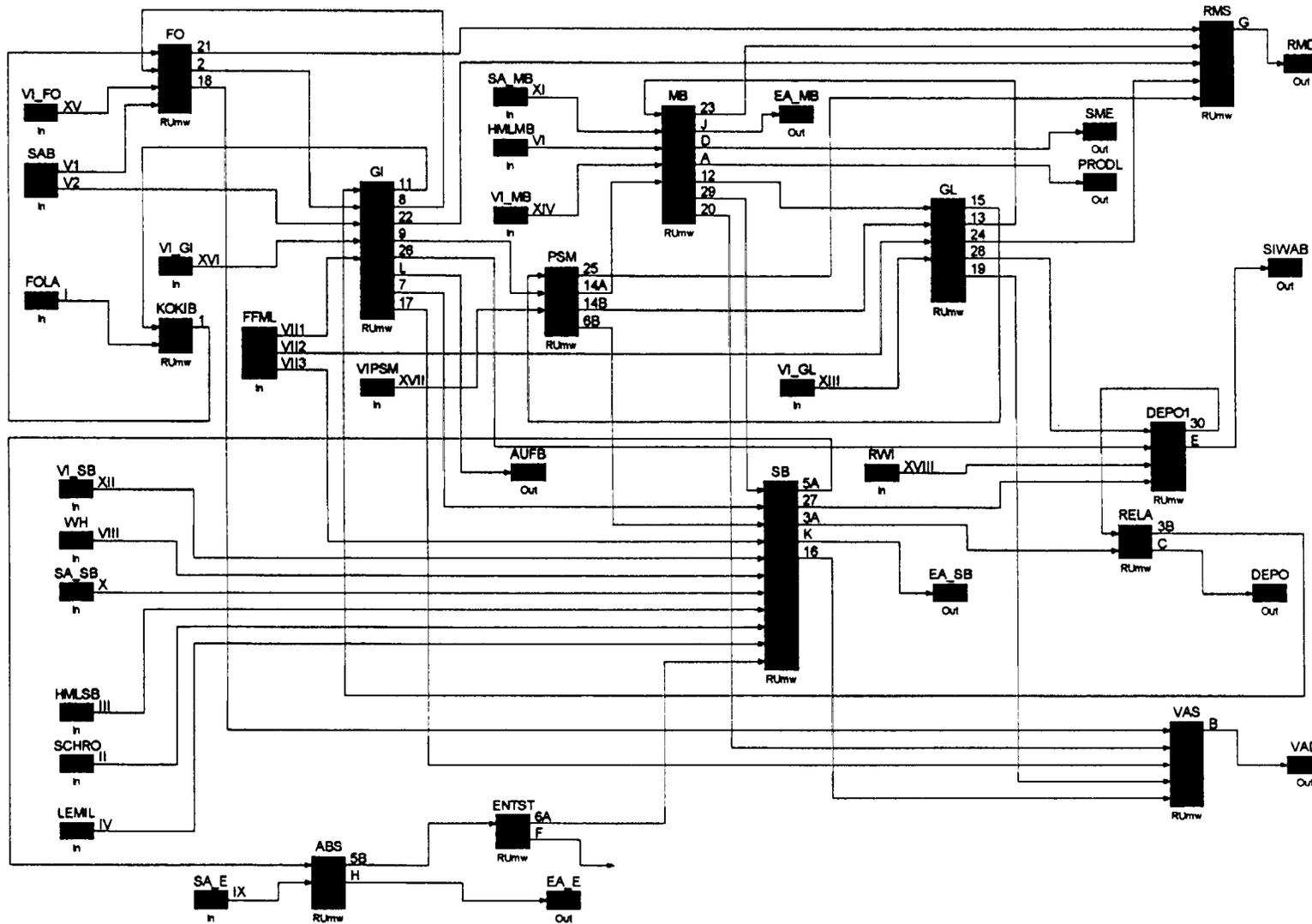


Abb. 5.2.1 Fließbild zur Variante WALZEN

## 5.2.4 Prozeßdaten

Tab. 5.2.3 Inputanlagen

| Nr. | Bezeichnung                 | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp   |
|-----|-----------------------------|-----------------|-------------|
| 1   | FEUERFESTMATERIALLAGER      | FFML            | Inputanlage |
| 2   | FORMENLAGER                 | FOLA            | Inputanlage |
| 3   | HILFSMITTELLAGER_MB         | HMLMB           | Inputanlage |
| 4   | HILFSMITTELLAGER_SB         | HMLSB           | Inputanlage |
| 5   | LEGIERUNGSMITTELLAGER       | LEMIL           | Inputanlage |
| 6   | REGENWASSERINPUT            | RWI             | Inputanlage |
| 7   | SANDBUNKER                  | SAB             | Inputanlage |
| 8   | SCHROTTANLIEFERUNG          | SCHRO           | Inputanlage |
| 9   | STROMANSCHLUß_E             | SA_E            | Inputanlage |
| 10  | STROMANSCHLUß_MB            | SA_MB           | Inputanlage |
| 11  | STROMANSCHLUß_SB            | SA_SB           | Inputanlage |
| 12  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_FO  | VI_FO           | Inputanlage |
| 13  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GI  | VI_GI           | Inputanlage |
| 14  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GL  | VI_GL           | Inputanlage |
| 15  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_MB  | VI_MB           | Inputanlage |
| 16  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_PSM | VIPSM           | Inputanlage |
| 17  | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_SB  | VI_SB           | Inputanlage |
| 18  | WERKSHALLE                  | WH              | Inputanlage |

Tab. 5.2.4 Outputanlagen

| Nr. | Bezeichnung                  | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp    |
|-----|------------------------------|-----------------|--------------|
| 1   | AUFBEREITUNG                 | AUFB            | Outputanlage |
| 2   | DEPONIE                      | DEPO            | Outputanlage |
| 3   | ENERGIEABGABE_E              | EA_E            | Outputanlage |
| 4   | ENERGIEABGABE_MB             | EA_MB           | Outputanlage |
| 5   | ENERGIEABGABE_SB             | EA_SB           | Outputanlage |
| 6   | PRODUKTLAGER                 | PRODL           | Outputanlage |
| 7   | RESTMÜLLDEPONIERUNG          | RMD             | Outputanlage |
| 8   | SICKERWASSERBEHANDLUNG       | SIWAB           | Outputanlage |
| 9   | SONDERMÜLLENTSORGUNG         | SME             | Outputanlage |
| 10  | UMGEBUNG                     | UMGEB           | Outputanlage |
| 11  | VERPACKUNGSABFALLDEPONIERUNG | VAD             | Outputanlage |

Tab. 5.2.5 Verarbeitungsanlagen

| <b>Nr.</b> | <b>Bezeichnung</b>        | <b>Kurzbezeichnung</b> | <b>Prozessart</b> |
|------------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| 1          | ABSAUGUNG                 | ABS                    | Umwandler         |
| 2          | DEPONIE_1                 | DEPO1                  | Umwandler         |
| 3          | ENTSTAUBUNG               | ENTST                  | Umwandler         |
| 4          | FORMEREI                  | FO                     | Umwandler         |
| 5          | GIEßEREI                  | GI                     | Umwandler         |
| 6          | GLÜHEREI                  | GL                     | Umwandler         |
| 7          | KOKILLENBEARBEITUNG       | KOKIB                  | Umwandler         |
| 8          | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | MB                     | Umwandler         |
| 9          | PUTZSCHLEIFMASCHINE       | PSM                    | Umwandler         |
| 10         | RELATION                  | RELA                   | Umwandler         |
| 11         | RESTMÜLLSAMMLUNG          | RMS                    | Umwandler         |
| 12         | SCHMELZBETRIEB            | SB                     | Umwandler         |
| 13         | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG | VAS                    | Umwandler         |

Tab. 5.2.6 Inputströme

| Nr. | Bezeichnung                      | Kurzbezeichnung |
|-----|----------------------------------|-----------------|
| 1   | I-Formenzulieferstrom            | I               |
| 2   | II-Schrottzulieferstrom          | II              |
| 3   | III-Hilfsmittelstrom             | III             |
| 4   | IV-Legierungsmittelstrom         | IV              |
| 5   | V1-Formsandstrom                 | V1              |
| 6   | V2-Gießsandstrom                 | V2              |
| 7   | VI-Putz/Schmiermittelstrom       | VI              |
| 8   | VII1-Feuerfestmaterialstrom_GI   | VII1            |
| 9   | VII2-Feuerfestmaterialstrom_GL   | VII2            |
| 10  | VII3-Feuerfestmaterialstrom_SB   | VII3            |
| 11  | VIII-Hallenluftstrom             | VIII            |
| 12  | IX-Energiestrom_E                | IX              |
| 13  | X-Energiestrom_SB                | X               |
| 14  | XI-Energiestrom_MB               | XI              |
| 15  | XII-Verbrauchsmaterialstrom_SB   | XII             |
| 16  | XIII-Verbrauchsmaterialstrom_GL  | XIII            |
| 17  | XIV-Verbrauchsmaterialstrom_MB   | XIV             |
| 18  | XV-Verbrauchsmaterialstrom_FO    | XV              |
| 19  | XVI-Verbrauchsmaterialstrom_GI   | XVI             |
| 20  | XVII-Verbrauchsmaterialstrom_PSM | XVII            |
| 21  | XVIII-Regenwasserstrom           | XVIII           |

Tab. 5.2.7 Outputströme

| Nr. | Bezeichnung                | Kurzbezeichnung |
|-----|----------------------------|-----------------|
| 1   | A-Produktstrom             | A               |
| 2   | B-Verpackungabfallstrom    | B               |
| 3   | C-Deponiestrom             | C               |
| 4   | D-Abfallstrom_MB           | D               |
| 5   | E-Sickerwasserstrom        | E               |
| 6   | F-Abluftstrom              | F               |
| 7   | G-Restmüllstrom            | G               |
| 8   | H-Prozeßenergiestrom_E     | H               |
| 9   | J-Prozeßenergiestrom_MB    | J               |
| 10  | K-Prozeßenergiestrom_SB    | K               |
| 11  | L-Formenaufbereitungsstrom | L               |

Tab. 5.2.8 Interne Ströme

| Nr. | Bezeichnung                  | Kurzbezeichnung |
|-----|------------------------------|-----------------|
| 1   | 1-Formenstrom                | 1               |
| 2   | 2-Walzenformenstrom          | 2               |
| 3   | 3A-Eisenstrom (Relation)     | 3A              |
| 4   | 3B-Eisenstrom                | 3B              |
| 5   | 5A-Absaugungsstrom           | 5A              |
| 6   | 5B-Absaugungsstrom           | 5B              |
| 7   | 6A-Recyclestaubstrom         | 6A              |
| 8   | 6B-Putzstaubstrom            | 6B              |
| 9   | 7-Recycleeisenstrom          | 7               |
| 10  | 8-Recycleformenstrom         | 8               |
| 11  | 9-Rohwalzenstrom             | 9               |
| 12  | 11-Recycleformenstrom        | 11              |
| 13  | 12-Walzenstrom (vorgedrehte) | 12              |
| 14  | 13-Walzenstrom (geglühte)    | 13              |
| 15  | 14A-Walzenstrom (geputzt)    | 14A             |
| 16  | 14B-Walzenstrom (geputzt)    | 14B             |
| 17  | 15-Walzenstrom (ungeputzt)   | 15              |
| 18  | 16-Verpackungsabfallstrom_SB | 16              |
| 19  | 17-Verpackungsabfallstrom_GI | 17              |
| 20  | 18-Verpackungsabfallstrom_FO | 18              |
| 21  | 19-Verpackungsabfallstrom_GL | 19              |
| 22  | 20-Verpackungsabfallstrom_MB | 20              |
| 23  | 21-Restmüllstrom_FO          | 21              |
| 24  | 22-Restmüllstrom_GI          | 22              |
| 25  | 23-Restmüllstrom_MB          | 23              |
| 26  | 24-Restmüllstrom_GL          | 24              |
| 27  | 25-Restmüllstrom_PSM         | 25              |
| 28  | 26-Deponiestrom_GI           | 26              |
| 29  | 27-Deponiestrom_SB           | 27              |
| 30  | 28-Deponiestrom_GL           | 28              |
| 31  | 29-Recyclespänestrom         | 29              |
| 32  | 30-Deponiestrom (Relation)   | 30              |

Tab. 5.2.9 Bilanzergbnisübersicht (berechnet mit einer Toleranz von 0,00001)

| Nr. | Strom                          | Stoff               | Jahr 1994  | Einheit            | Quelle                 | Ziel                    |
|-----|--------------------------------|---------------------|------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| 1   | I-Formenzulieferstrom          | Formkästen_neu      | 3,000      | Stk                | FORMENLAGER            | KOKILLENBEARBEITUNG     |
| 2   | I-Formenzulieferstrom          | Kokillen_neu        | 11,000     | Stk                | FORMENLAGER            | KOKILLENBEARBEITUNG     |
| 3   | II-Schrottzulieferstrom        | Schrott             | 14 100,000 | t                  | SCHROTTANLIEFERUNG     | SCHMELZBETRIEB          |
| 4   | III-Hilfsmittelstrom           | Hilfsmittel         | 2 500,000  | t                  | HILFSMITTELLAGER_SB    | SCHMELZBETRIEB          |
| 5   | III-Hilfsmittelstrom           | Argon               | 113,500    | t                  | HILFSMITTELLAGER_SB    | SCHMELZBETRIEB          |
| 6   | III-Hilfsmittelstrom           | Sauerstoff          | 466,000    | t                  | HILFSMITTELLAGER_SB    | SCHMELZBETRIEB          |
| 7   | IV-Legierungsmittelstrom       | Legierungsmittel    | 1 900,000  | t                  | LEGIERUNGSMITTELLAGER  | SCHMELZBETRIEB          |
| 8   | V1-Formsandstrom               | Formsand            | 3 200,000  | t                  | SANDBUNKER             | FORMEREI                |
| 9   | V1-Formsandstrom               | Harz                | 4,515      | t                  | SANDBUNKER             | FORMEREI                |
| 10  | V1-Formsandstrom               | Schlichte           | 20,500     | t                  | SANDBUNKER             | FORMEREI                |
| 11  | V1-Formsandstrom               | Vernetzer           | 7,995      | t                  | SANDBUNKER             | FORMEREI                |
| 12  | V2-Gießsandstrom               | Formsand            | 400,000    | t                  | SANDBUNKER             | GIEßEREI                |
| 13  | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Kühl/Schmierstoffe  | 100,000    | t                  | HILFSMITTELLAGER_MB    | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 14  | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Öl                  | 5,000      | t                  | HILFSMITTELLAGER_MB    | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 15  | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Öl_Bindemittel      | 0,500      | t                  | HILFSMITTELLAGER_MB    | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 16  | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Putzreste           | 0,500      | t                  | HILFSMITTELLAGER_MB    | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 17  | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Putzwolle           | 4,000      | t                  | HILFSMITTELLAGER_MB    | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 18  | VII1-Feuerfestmaterialstrom_GI | Feuerfestmaterial   | 724,408    | t                  | FEUERFESTMATERIALLAGER | GIEßEREI                |
| 19  | VII2-Feuerfestmaterialstrom_GL | Feuerfestmaterial   | 724,408    | t                  | FEUERFESTMATERIALLAGER | GLÜHEREI                |
| 20  | VII3-Feuerfestmaterialstrom_SB | Feuerfestmaterial   | 2 173,224  | t                  | FEUERFESTMATERIALLAGER | SCHMELZBETRIEB          |
| 21  | VIII-Hallenluftstrom           | Luft                | 3 300,000  | Mio m <sup>3</sup> | WERKSHALLE             | SCHMELZBETRIEB          |
| 22  | IX-Energiestrom_E              | Energie, elektrisch | 2 553,840  | MWh                | STROMANSCHLUß_E        | ABSAUGUNG               |
| 23  | X-Energiestrom_SB              | Energie, elektrisch | 30 848,084 | MWh                | STROMANSCHLUß_SB       | SCHMELZBETRIEB          |

| Nr. | Strom                            | Stoff               | Jahr 1994   | Einheit | Quelle                      | Ziel                    |
|-----|----------------------------------|---------------------|-------------|---------|-----------------------------|-------------------------|
| 24  | XI-Energiestrom_MB               | Energie, elektrisch | 7 594,270   | MWh     | STROMANSCHLUß_MB            | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 25  | XII-Verbrauchsmaterialstrom_SB   | Verpackungsmaterial | 3,150       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_SB  | SCHMELZBETRIEB          |
| 26  | XIII-Verbrauchsmaterialstrom_GL  | Verbrauchsmaterial  | 6,000       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GL  | GLÜHEREI                |
| 27  | XIII-Verbrauchsmaterialstrom_GL  | Verpackungsmaterial | 0,315       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GL  | GLÜHEREI                |
| 28  | XIV-Verbrauchsmaterialstrom_MB   | Verbrauchsmaterial  | 6,000       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_MB  | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 29  | XIV-Verbrauchsmaterialstrom_MB   | Verpackungsmaterial | 0,315       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_MB  | MECHANISCHE BEARBEITUNG |
| 30  | XV-Verbrauchsmaterialstrom_FO    | Verbrauchsmaterial  | 18,000      | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_FO  | FORMEREI                |
| 31  | XV-Verbrauchsmaterialstrom_FO    | Verpackungsmaterial | 0,945       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_FO  | FORMEREI                |
| 32  | XVI-Verbrauchsmaterialstrom_GI   | Verbrauchsmaterial  | 84,000      | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GI  | GIEßEREI                |
| 33  | XVI-Verbrauchsmaterialstrom_GI   | Verpackungsmaterial | 1,575       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_GI  | GIEßEREI                |
| 34  | XVII-Verbrauchsmaterialstrom_PSM | Verbrauchsmaterial  | 6,000       | t       | VERBRAUCHSMATERIALINPUT_PSM | PUTZSCHLEIFMASCHINE     |
| 35  | XVIII-Regenwasserstrom           | Wasser              | 154 000,000 | m3      | REGENWASSERINPUT            | DEPONIE_1               |
| 36  | 1-Formenstrom                    | Formkästen          | 2741,000    | Stk     | KOKILLENBEARBEITUNG         | FORMEREI                |
| 37  | 1-Formenstrom                    | Kokillen            | 462,000     | Stk     | KOKILLENBEARBEITUNG         | FORMEREI                |
| 38  | 2-Walzenformenstrom              | Walzenformen        | 913,000     | Stk     | FORMEREI                    | GIEßEREI                |
| 39  | 3A-Eisenstrom (Relation)         | Eisen, flüssig1     | 38 500,000  | t       | SCHMELZBETRIEB              | RELATION                |
| 40  | 3B-Eisenstrom                    | Eisen, flüssig      | 38 500,000  | t       | RELATION                    | GIEßEREI                |
| 41  | 5A-Absaugungsstrom               | Luft_s              | 3300,000    | Mio m3  | SCHMELZBETRIEB              | ABSAUGUNG               |
| 42  | 5A-Absaugungsstrom               | Staub               | 905,000     | t       | SCHMELZBETRIEB              | ABSAUGUNG               |
| 43  | 5B-Absaugungsstrom               | Luft                | 3 300,000   | Mio m3  | ABSAUGUNG                   | ENTSTAUBUNG             |
| 44  | 5B-Absaugungsstrom               | Staub               | 905,000     | t       | ABSAUGUNG                   | ENTSTAUBUNG             |
| 45  | 6A-Recyclestaubstrom             | Staub_ENTST         | 900,000     | t       | ENTSTAUBUNG                 | SCHMELZBETRIEB          |
| 46  | 6B-Putzstaubstrom                | Staub_PSM           | 5,000       | t       | PUTZSCHLEIFMASCHINE         | SCHMELZBETRIEB          |
| 47  | 7-Recycleeisenstrom              | Resteisen           | 8 500,000   | t       | GIEßEREI                    | SCHMELZBETRIEB          |
| 48  | 8-Recycleformenstrom             | Formkästen          | 2737,000    | Stk     | GIEßEREI                    | FORMEREI                |

| Nr. | Strom                        | Stoff                | Jahr 1994  | Einheit | Quelle                  | Ziel                      |
|-----|------------------------------|----------------------|------------|---------|-------------------------|---------------------------|
| 49  | 8-Recycleformenstrom         | Kokillen             | 451,000    | Stk     | GIEßEREI                | FORMEREI                  |
| 50  | 9-Rohwalzenstrom             | Rohwalzen            | 30 000,000 | t       | GIEßEREI                | PUTZSCHLEIFMASCHINE       |
| 51  | 11-Recycleformenstrom        | Formkästen_KOKIB     | 2738,000   | Stk     | GIEßEREI                | KOKILLENBEARBEITUNG       |
| 52  | 11-Recycleformenstrom        | Kokillen_KOKIB       | 451,000    | Stk     | GIEßEREI                | KOKILLENBEARBEITUNG       |
| 53  | 12-Walzenstrom (vorgedrehte) | Walzen, vorgedreht   | 20 000,000 | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG | GLÜHEREI                  |
| 54  | 13-Walzenstrom (geglühte)    | Walzen, geglüht      | 19 980,000 | t       | GLÜHEREI                | MECHANISCHE BEARBEITUNG   |
| 55  | 14B-Walzenstrom (geputzt)    | Walzen, PSM-GL       | 5000,000   | t       | PUTZSCHLEIFMASCHINE     | GLÜHEREI                  |
| 56  | 14A-Walzenstrom (geputzt)    | Walzen               | 29 985,000 | t       | PUTZSCHLEIFMASCHINE     | MECHANISCHE BEARBEITUNG   |
| 57  | 15-Walzenstrom (ungeputzt)   | Walzen, GL-PSM       | 4 995,000  | t       | GLÜHEREI                | PUTZSCHLEIFMASCHINE       |
| 58  | 16-Verpackungsabfallstrom_SB | Verpackungsabfall_SB | 3,150      | t       | SCHMELZBETRIEB          | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG |
| 59  | 17-Verpackungsabfallstrom_GI | Verpackungsabfall_GI | 1,575      | t       | GIEßEREI                | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG |
| 60  | 18-Verpackungsabfallstrom_FO | Verpackungsabfall_FO | 0,945      | t       | FORMEREI                | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG |
| 61  | 19-Verpackungsabfallstrom_GL | Verpackungsabfall_GL | 0,315      | t       | GLÜHEREI                | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG |
| 62  | 20-Verpackungsabfallstrom_MB | Verpackungsabfall_MB | 0,315      | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG |
| 63  | 21-Restmüllstrom_FO          | Restmüll_FO          | 18,000     | t       | FORMEREI                | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 64  | 22-Restmüllstrom_GI          | Restmüll_GI          | 84,000     | t       | GIEßEREI                | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 65  | 23-Restmüllstrom_MB          | Restmüll_MB          | 6,000      | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 66  | 24-Restmüllstrom_GL          | Zunder               | 25,000     | t       | GLÜHEREI                | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 67  | 24-Restmüllstrom_GL          | Restmüll_GL          | 6,000      | t       | GLÜHEREI                | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 68  | 25-Restmüllstrom_PSM         | Zunder               | 5,000      | t       | PUTZSCHLEIFMASCHINE     | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 69  | 25-Restmüllstrom_PSM         | Restmüll_PSM         | 6,000      | t       | PUTZSCHLEIFMASCHINE     | RESTMÜLLSAMMLUNG          |
| 70  | 26-Deponiestrom_GI           | Altsand              | 3 633,010  | t       | GIEßEREI                | DEPONIE_1                 |
| 71  | 26-Deponiestrom_GI           | Ausbruch_GI          | 724,408    | t       | GIEßEREI                | DEPONIE_1                 |
| 72  | 27-Deponiestrom_SB           | Ausbruch_SB          | 2 173,224  | t       | SCHMELZBETRIEB          | DEPONIE_1                 |
| 73  | 27-Deponiestrom_SB           | Schlacke             | 3 044,950  | t       | SCHMELZBETRIEB          | DEPONIE_1                 |

| Nr. | Strom                      | Stoff                      | Jahr 1994   | Einheit | Quelle                    | Ziel                          |
|-----|----------------------------|----------------------------|-------------|---------|---------------------------|-------------------------------|
| 74  | 28-Deponiestrom_GL         | Ausbruch_GL                | 724,408     | t       | GLÜHEREI                  | DEPONIE_1                     |
| 75  | 29-Recyclespänestrom       | Schleifschlamm             | 0,450       | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | SCHMELZBETRIEB                |
| 76  | 29-Recyclespänestrom       | Späne                      | 13 965,000  | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | SCHMELZBETRIEB                |
| 77  | 30-Deponiestrom (Relation) | Deponiemüll1               | 10 300,000  | t       | DEPONIE_1                 | RELATION                      |
| 78  | A-Produktstrom             | Walzen, fertig             | 15 999,550  | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | PRODUKTLAGER                  |
| 79  | B-Verpackungabfallstrom    | Verpackungsabfall          | 6,300       | t       | VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG | VERPACKUNGSABFALL-DEPONIERUNG |
| 80  | C-Deponiestrom             | Deponiemüll                | 10 300,000  | t       | RELATION                  | DEPONIE                       |
| 81  | D-Abfallstrom_MB           | Altöl                      | 5,000       | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | SONDERMÜLLENTSORGUNG          |
| 82  | D-Abfallstrom_MB           | Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 100,000     | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | SONDERMÜLLENTSORGUNG          |
| 83  | D-Abfallstrom_MB           | ÖVB                        | 5,000       | t       | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | SONDERMÜLLENTSORGUNG          |
| 84  | E-Sickerwasserstrom        | Sickerwasser               | 154 000,000 | m3      | DEPONIE_1                 | SICKERWASSERBEHANDLUNG        |
| 85  | F-Abluftstrom              | Staub_Abluft               | 5,000       | t       | ENTSTAUBUNG               | UMGEBUNG                      |
| 86  | F-Abluftstrom              | Luft_gereinigt             | 3 300,000   | Mio m3  | ENTSTAUBUNG               | UMGEBUNG                      |
| 87  | G-Restmüllstrom            | Zunder                     | 30,000      | t       | RESTMÜLLSAMMLUNG          | RESTMÜLLDEPONIERUNG           |
| 88  | G-Restmüllstrom            | Restmüll                   | 120,000     | t       | RESTMÜLLSAMMLUNG          | RESTMÜLLDEPONIERUNG           |
| 89  | H-Prozeßenergiestrom_E     | Prozeßenergie              | 2 553,840   | MWh     | ABSAUGUNG                 | ENERGIEABGABE_E               |
| 90  | J-Prozeßenergiestrom_MB    | Prozeßenergie              | 7 594,270   | MWh     | MECHANISCHE BEARBEITUNG   | ENERGIEABGABE_MB              |
| 91  | K-Prozeßenergiestrom_SB    | Prozeßenergie              | 30 848,084  | MWh     | SCHMELZBETRIEB            | ENERGIEABGABE_SB              |
| 92  | L-Formenaufbereitungsstrom | Formkästen_E               | 3,000       | Stk     | GIEßEREI                  | AUFBEREITUNG                  |
| 93  | L-Formenaufbereitungsstrom | Kokillen_E                 | 11,000      | Stk     | GIEßEREI                  | AUFBEREITUNG                  |

In obenstehender Tabelle werden sämtliche bilanzierten Daten dargestellt. Die bekannten Werte sind fett und kursiv geschrieben. Alle anderen Werte wurden aufgrund der Prozeßvorschriften aus diesen beiden bekannten Werten errechnet. Da die Wassermenge keinen Einfluß auf die anderen Stoffströme (außer auf die Sickerwassermenge) hat, ist die Menge flüssiges Eisen die einzige verbleibende relevante Größe. Durch die Konzeption des Gleichungssystems müßte es aber auch möglich sein, mit jedem anderen als bekannt vorgegebenen Wert die Variante zu bilanzieren.

Tab. 5.2.10 Kostenübersicht für das Jahr 1994

| Kostenart              | ANLAGE | Strom                          | Stoff                      | 1994          | Währung |
|------------------------|--------|--------------------------------|----------------------------|---------------|---------|
| Stoffeinkaufskosten    |        | II-Schrottzulieferstrom        | Schrott                    | 2 999 999,19  | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | III-Hilfsmittelstrom           | Hilfsmittel                | 325 000,00    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | III-Hilfsmittelstrom           | Argon                      | 305 315,00    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | III-Hilfsmittelstrom           | Sauerstoff                 | 158 440,00    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | IV-Legierungsmittelstrom       | Legierungsmittel           | 6 175 000,00  | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | V2-Gießsandstrom               | Formsand                   | 60 000,00     | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | V1-Formsandstrom               | Formsand                   | 480 000,03    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | V1-Formsandstrom               | Harz                       | 26 682,38     | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | V1-Formsandstrom               | Schlichte                  | 32 184,35     | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | V1-Formsandstrom               | Vernetzer                  | 46 771,57     | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VII1-Feuerfestmaterialstrom_GL | Feuerfestmaterial          | 456 377,04    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VII2-Feuerfestmaterialstrom_GL | Feuerfestmaterial          | 456 377,04    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VII3-Feuerfestmaterialstrom_SB | Feuerfestmaterial          | 1 369 131,12  | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Kühl/Schmierstoffe         | 667 000,00    | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Putzwolle                  | 3 840,00      | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Öl                         | 11 000,00     | DM      |
| Stoffeinkaufskosten    |        | VI-Putz/Schmiermittelstrom     | Öl_Bindemittel             | 925           | DM      |
| Produkterlöse          |        | A-Produktstrom                 | Walzen, fertig             | 79 997 750,00 | DM      |
| Stoffentsorgungskosten |        | D-Abfallstrom_MB               | Altöl                      | 835           | DM      |
| Stoffentsorgungskosten |        | D-Abfallstrom_MB               | Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 40 000,00     | DM      |
| Stoffentsorgungskosten |        | D-Abfallstrom_MB               | ÖVB                        | 4 500,00      | DM      |
| Stoffentsorgungskosten |        | E-Sickerwasserstrom            | Sickerwasser               | 3 696,00      | DM      |

| Kostenart                        | ANLAGE                  | Strom                   | Stoff               | 1994         | Währung |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|---------|
| Stoffentsorgungskosten           |                         | B-Verpackungabfallstrom | Verpackungsabfall   | 5 999,99     | DM      |
| Stoffentsorgungskosten           |                         | G-Restmüllstrom         | Zunder              | 1 800,00     | DM      |
| Stoffentsorgungskosten           |                         | G-Restmüllstrom         | Restmüll            | 24 000,00    | DM      |
| Stoffentsorgungskosten           |                         | C-Deponiestrom          | Deponiemüll         | 206 000,00   | DM      |
| Stoffeinkaufskosten              |                         | IX-Energiestrom_E       | Energie, elektrisch | 293 691,63   | DM      |
| Stoffeinkaufskosten              |                         | XI-Energiestrom_MB      | Energie, elektrisch | 873 341,05   | DM      |
| Stoffeinkaufskosten              |                         | X-Energiestrom_SB       | Energie, elektrisch | 3 547 529,66 | DM      |
| Instandhaltungskosten            | GLÜHEREI                |                         |                     | 150 976,00   | DM      |
| Instandhaltungskosten            | FORMEREI                |                         |                     | 185 836,00   | DM      |
| Instandhaltungskosten            | GIEßEREI                |                         |                     | 882 672,00   | DM      |
| Instandhaltungskosten            | MECHANISCHE BEARBEITUNG |                         |                     | 638 764,00   | DM      |
| Instandhaltungskosten            | SCHMELZBETRIEB          |                         |                     | 464 548,00   | DM      |
| Einkaufskosten<br>Betriebsstoffe | GLÜHEREI                |                         | Gas                 | 1 980 000,00 | DM      |
| Personalkosten                   | GIEßEREI                |                         |                     | 2 544 367,92 | DM      |
| Personalkosten                   | MECHANISCHE BEARBEITUNG |                         |                     | 3 958 920,00 | DM      |
| Personalkosten                   | SCHMELZBETRIEB          |                         |                     | 2 156 244,00 | DM      |

**Anmerkung:**

Die für die Kostenbetrachtung interessanten Einzelkosten (Kosten pro Stoffeinheit, Stundenlohn) sind direkt in der AUDIT Variante den entsprechenden Kostendialogen zu entnehmen.

## 5.3 Prozeßvorschriften

### 5.3.1 Allgemeines

Um einen Betrieb, der in Form eines AUDIT-Fließbildes mittels Anlagen und Strömen dargestellt wurde (siehe Abb. 5.2.1 Fließbild zur Variante WALZEN, Seite 34), bilanzieren und damit die Richtigkeit der erhobenen Daten bzw. der getroffenen Annahmen überprüfen zu können, müssen in den Anlagen sogenannte Prozeßvorschriften, d.h. Gleichungen, eingegeben werden, welche die tatsächlichen Vorgänge in der Anlage/Maschine simulieren. Durch diese Prozeßvorschriften ergibt sich für die AUDIT-Variante ein System aus Gleichungen. Wenn dieses Gleichungssystem innerhalb der vom Benutzer vorgegebenen Toleranz lösbar ist, heißt es, daß die Bilanz aufgeht.

Wenn jede Prozeßvorschrift dieses Systems dem Massenerhaltungssatz gehorcht (Masse der Inputstoffe = Masse der Outputstoffe), gewährleistet eine solcherart bilanzierte Variante Massenerhaltung für das Gesamtsystem (den gesamten Betrieb).

Aufgrund dieser Systematik – Erstellen eines in sich geschlossenen Systems – konnten bei der Datenerhebung und gleichzeitigen Verarbeitung mit AUDIT Fehler, d.h. ungenaue oder nicht übereinstimmende Informationen über Stoffmengen, unmittelbar korrigiert bzw. unbedingt benötigte Informationen direkt vor Ort angefordert werden.

Prozeßvorschriften können nur für sogenannte Verarbeitungsanlagen – Anlagen in denen Prozesse vor sich gehen – nicht jedoch für In- oder Outputanlagen definiert werden. Die Variante Walzen beinhaltet 13 Verarbeitungsanlagen (siehe Tab. 5.2.5 Verarbeitungsanlagen Seite 35).

In welcher Weise reale Vorgänge im Programm AUDIT in Prozeßvorschriften verarbeitet werden können, soll in den folgenden Kapiteln anhand der Verarbeitungsanlagen aus der Variante Walzen erläutert werden. In den Prozeßvorschriften werden die Kurznamen der entsprechenden Stoffe verwendet. Diese Kurznamen sind in Tab. 5.2.2 Stofftabelle, Seite 31 ersichtlich.

### 5.3.2 ABSAUGUNG/ABS

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | lufts + 0.774enel → luft + 0.774proen |

Prozeß 1:

Über die Anlage ABSAUGUNG wird die mit Staub beladene Luft aus den Werkshallen mittels mehrerer Gebläse abgesaugt und zur ENTSTAUBUNG (Schlauchfilteranlage) gefördert. Aufgrund der bekannten, jährlich abgesaugten Luftmenge (3300Mio m<sup>3</sup>) und dem ebenfalls bekannten Input von elektrischer Energie (2553,8403MWh) läßt sich die pro Mio m<sup>3</sup> Luft benötigte Strommenge – 0,773892MWh/ Mio m<sup>3</sup> – ermitteln.

Die elektrische Energie wird in den fiktiven Stoff Prozeßenergie umgewandelt. Der Stoff Luft bleibt grundsätzlich derselbe, aus mathematischen Gründen (um die Vorschrift definieren zu können) müssen jedoch die 'beiden' Stoffe Luft\_s (lufts) und Luft (luft) verwendet werden. (Der gleiche Stoff auf der linken und rechten Seite einer Gleichung kann zu linearer Abhängigkeit führen.)

### 5.3.3 ENTSTAUBUNG/ENTST

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                            |
|--------|--|
| 1      | 905.staub + 3.300e+03luft → 900.st_ES + 5.st_al + 3.300e+03luftg |

Prozeß 1:

In der Anlage ENTSTAUBUNG wird ein Großteil des mit der Luft mitgeführten Staubes in den Schlauchfiltern abgeschieden und wieder in den Schmelzbetrieb zurückgeführt. Die Menge dieses Stoffes, der Staub\_ENTST (st\_ES) genannt wurde, wird über die Anzahl der befüllten Staubbehälter gemessen (⇒ 900t st\_ES/Jahr). Die Beladung der an die Umgebung abgegebenen Luft – Luft\_gereinigt (luft\_g) – wird ebenfalls gemessen (⇒ 5t st\_al/Jahr).

Mit diesen bekannten bzw. gemessenen Daten und der gesamten Luftmenge aus der ABSAUGUNG kann nun nachfolgende Vorschrift aufgestellt werden.

### 5.3.4 SCHMELZBETRIEB/SB

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift   |
|--------|---|
| 1      | ffmat → ab_SB   |
| 2      | st_PS → schla   |
| 3      | st_ES → staub   |
| 4      | st_ES → schla   |
| 5      | vpma → va_SB  |
| 6      | 14.1schro + 1.9legmi + 8.5reste + 13.965span + 0.sschl + 0.005st_PS + 30.848enel + 2.5hilf + 0.466O2 + 0.114Ar + 3.3luft → 30.848proen + 2.47schla + 0.58staub + 3.3lufts + 38.5eifl1 |

Die zentrale Anlage für die Entwicklung der AUDIT-Variante war der SCHMELZBETRIEB. Da die Menge des eingeschmolzenen Metalls (Eisen, flüssig bzw. Eisen, flüssig1) auch für Genehmigungsverfahren eine wesentliche Größe darstellt, wurde versucht, die gesamte Variante ausgehend von dieser Anlage bzw. von diesem Wert zu gestalten.

Die Stoffmengen aller Inputstoffe, die aus Inputanlagen in den SCHMELZBETRIEB gelangen (siehe Abb. 5.2.1 Fließbild zur Variante WALZEN, Seite 34 oder Abb. 5.5.1 Sankeydarstellung der Variante WALZEN, Seite 3462), sind bekannt (Einkaufszahlen). Die anderen In- und Outputmengen sind entweder Meßwerte oder beruhen auf Schätzung von erfahrenen, betriebsinternen Personen.

#### **Prozeß 1:**

Das zugeführte Feuerfestmaterial (ffmat) wird vollständig in Ausbruch\_SB (ab\_SB) umgewandelt. /Abschätzung/

#### **Prozeß 2:**

Ein Teil des Stoffes Staub\_PSM (st\_PS) aus der Putzschleifmaschine wird vollständig in Schlacke umgesetzt, der andere, größenmäßig spezifizierte, Anteil gelangt in den Stoff Eisen, flüssig1 – siehe Prozeß 6. /Abschätzung/

#### **Prozeß 3 und Prozeß 4:**

Der Staub aus der Entstaubungsanlage – Staub\_ENTST (st\_ES) – wird sowohl zu Schlacke (schla) als auch wieder zu Staub (staub) umgesetzt. Da das genaue Verhältnis nicht bekannt ist, werden zwei getrennte Vorschriften angegeben. Die Aufteilung des Stoffes Staub\_ENTST auf Schlacke und Staub ergibt sich aus dem Zusammenspiel der anderen Gleichungen im Gesamtsystem.

#### **Prozeß 5:**

Das im SCHMELZBETRIEB eingesetzte Verpackungsmaterial (vpma) gelangt als Verpackungsabfall\_SB (va\_SB) zur Verpackungsabfalldeponierung.

#### **Prozeß 6:**

Dieser Prozeß soll einerseits die Zusammensetzung der Schmelze (Eisen, flüssig1) angeben, andererseits sind darin aber auch Stoffe enthalten, die mit der Zusammensetzung (Rezeptur der Schmelze) nicht in Zusammenhang stehen. Daher wird dieser Prozeß im nachhinein noch einmal genauer analysiert, d.h. in Teilprozesse zerlegt, um das Verständnis zu erleichtern.

#### **Teil 1: Zusammensetzung der Schmelze (Jahresschnitt)**

38,5t Schmelze bestehen aus 14,1t Schrott, 1,9t Legierungsmittel, 8,5t Resteisen, 13,965t Späne, 0,00045t Schleifschlamm, 0,00455t Staub\_PSM und 0,03t Hilfsmittel.

Alle Werte in den weiteren Teilen der Vorschrift beziehen sich nun jeweils auf 38,5t Schmelze.

Teil 2:

Insgesamt werden pro 38,5t Schmelze 2,5t Hilfsmittel eingebracht, von denen 0,03t in die Schmelze übergehen (siehe Teil 1: Zusammensetzung der Schmelze). Die restliche 2,47t Hilfsmittel verlassen die Anlage als Schlacke.

Teil 3:

0,466t Sauerstoff und 0,114t Argon, die beim Einschmelzen eingeblasen werden, werden zu Staub umgesetzt und verlassen gemeinsam mit der Luft die Anlage. Obwohl Staub in mehreren Anlagenteilen entsteht, wird zur rechnerischen Vereinfachung angenommen, daß der Schmelzbetrieb die einzige Staubquelle ist (dieselbe vereinfachende Annahme gilt auch für die Luft, siehe Teil 4). Die Gesamtmengen stimmen aber sehrwohl mit den tatsächlichen Mengen überein.

Teil 4:

Die gesamte im Betrieb abgesaugte Luftmenge wird in dieser Anlage mit der Menge Schmelze in Zusammenhang gebracht.  $\Rightarrow$  je 38,5t werden 3,3Mio m<sup>3</sup> Luft abgesaugt. Die Luftmenge kann natürlich auch unabhängig von der Menge an Schmelze betrachtet werden, sie müßte dann aber als bekannter Wert eingegeben werden.

Teil 5:

Als letzte Komponente wurde noch die aufgewendete elektrische Energie in die Vorschrift impliziert. Wiederum abhängig von der Schmelzemenge werden 30,848084MWh elektrische Energie eins zu eins in die fiktive Komponente Prozeßenergie umgewandelt.

**5.3.5 RELATION/RELA**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift  |
|--------|--|
| 1      | $38.5\text{eifl1} + 10.3\text{depm1} \rightarrow 38.5\text{eifl0} + 10.3\text{depm}$ |

**Prozeß 1:**

Die fiktive Anlage REALTION dient nur dazu, einen Zusammenhang zwischen der Schmelz- und der Deponiemüllmenge herzustellen. Da diese Anlage in Wirklichkeit nicht existiert, kommt es eigentlich auch zu keiner Veränderung der Stoffe. Die Definition der für das System AUDIT unterschiedlichen Stoffe Deponiemüll (depm) und Deponiemüll1 (depm1) sowie Eisen, flüssig1 (eifl1) und Eisen, flüssig (eiflü) hat wiederum nur für das Aufstellen einer eindeutigen mathematischen Gleichung eine Bedeutung (siehe auch 5.3.2 ABSAUGUNG/ABS).

Die Prozeßvorschrift selbst sagt nichts anderes aus, als daß pro 38,5t Schmelz 10,3t Deponiemüll anfallen.

### 5.3.6 DEPONIE1/DEPO1

In der DEPONIE1 wird hingegen festgesetzt, woraus sich der zu deponierende Müll zusammensetzt. Auch diese Anlage muß nicht unbedingt als real angesehen werden, um jedoch gewisse Vorgänge der realen Deponie simulieren zu können, muß diese als AUDIT-Verarbeitungsanlage dargestellt werden, da für eine Outputanlage keine Vorschriften angegeben werden können (⇒ Zweiteilung in DEPONIE und DEPONIE1).

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                 |
|--------|---|
| 1      | was → sickw   |
| 2      | altsa → depm1   |
| 3      | $0.6ab\_SB + 0.2ab\_GL + 0.2ab\_GI \rightarrow depm1$ |
| 4      | schla → depm1   |

#### Prozeß 1:

Das Wasser (was) – entspricht dem Regenwasser – wird zu Sickerwasser (sickw) umgesetzt. Die Menge an Sickerwasser hat keinen direkten Bezug zur Schmelzemenge. Daher ist der Stoff Sickerwasser der einzige in der gesamten Variante, der neben der Menge an Schmelze als bekannt definiert werden muß.

#### Prozeß 2:

Die vollständige Menge Altsand (altsa) wird als Deponiemüll entsorgt.

#### Prozeß 3:

Ofen- und Pfannenausbruch fallen im Schmelzbetrieb (ab\_SB), in der Gießerei (ab\_GI) und der Glüherei (ab\_GL) an. Sie müssen zusammen mit dem Altsand und der Schlacke deponiert werden. Die Aufteilung auf diese drei Betriebsteile (60 zu 20 zu 20%) wurde wiederum abgeschätzt, da keine exakten Werte vorlagen.

#### Prozeß 4:

Wie schon der Altsand wird auch die in der Produktion anfallende Schlacke zur Gänze auf der werkseigenen Deponie abgelagert.

### 5.3.7 GIEßEREI/GI

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift  |
|--------|--|
| 1      | 38.5eiflü + 0.913walzf + 0.4fosa + 0.724ffmat + 0.002vpma + 0.084verbm →<br>30.rohwa + 8.5reste + 0.451kokil + 0.451kok_K + 0.011kok_E + 2.737fkä +<br>2.738fkä_K + 0.003fkä_E + 3.633altsa + 0.724ab_GI + 0.002va_GI + 0.084rm_GI |

#### Prozeß 1:

In der GIEßEREI wird das flüssige Eisen in Formen vergossen. Für 38,5t Eisen, flüssige (eiflü) werden im Schnitt 0,913Stk Walzenformen, 0,4t Formsand (fosa) und 0,724408t Feuerfestmaterial (ffmat) benötigt. Aus den 38,5t entstehen 30t Rohwalzen, die weiterverarbeitet werden, und 8,5t Resteisen, das wieder in den SCHMELZBETRIEB zurückgeführt wird.

Die Aufteilung der Walzenformen gestaltet sich etwas schwieriger. Grundsätzlich bestehen die in der Formerei erzeugten Walzenformen aus Formkästen, Kokillen, Formsand und unterschiedlichen Bindemitteln (für den Formsand). (Zusammensetzung siehe Kapitel 5.3.8.)

Der Formsand und die Bindemittel aus den Walzenformen sowie die 0,4t zusätzlich benötigter Formsand ergeben die 3,63301t Altsand.

Die Formkästen und Kokillen teilen sich wie folgt auf die Anlagen KOKILLENBEARBEITUNG und FORMEREI (abgeschätzt) sowie die Outputanlage AUFBEREITUNG (zerstörte Kokillen und Formkästen, bekannt) auf.

**KOKILLENBEARBEITUNG:** 0,451Stk Kokillen (kok\_K), 2,738Stk Formkästen (fkä\_K)

**FORMEREI:** 0,451Stk Kokillen (kokil), 2,737Stk Formkästen (fkä)

**AUFBEREITUNG:** 0,011Stk Kokillen (kok\_E), 0,003Stk Formkästen (fkä\_E)

Alle weiteren Masseangaben beziehen sich ebenfalls wieder auf 38,5t Eisen, flüssig.

Die 0,002t Verpackungsmaterial (vpma) werden zu 0,002t Verpackungsabfall\_GI (va\_GI) umgesetzt. Aus 0,084t Verbrauchsmaterial (verbm) entstehen 0,084t Restmüll\_GI (rm\_GI).

Das Feuerfestmaterial (ffmat) wird vollständig zu Ausbruch\_GI (ab\_GI).

### 5.3.8 FORMEREI/FO

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                                   |
|--------|---|
| 1      | verbm → rm_FO   |
| 2      | vpma → va_FO  |
| 3      | 6.fkä + kokil + 3.505fosa + 0.005harz + 0.022schli + 0.009verne → walzf |

#### Prozeß 1:

Das komplette eingesetzte Verbrauchsmaterial (verbm) wird zu Restmüll\_FO (rm\_FO) umgewandelt.

**Prozeß 2:**

Das in den Betriebsteil FORMEREI eingebrachte Verpackungsmaterial (vpma) wird als Verpackungsabfall\_FO (va\_FO) entsorgt.

**Prozeß 3:**

Mit dieser Vorschrift wird der wesentliche Vorgang in der FORMEREI, nämlich das Zusammenetzen einer Walzenform, beschrieben.

Demgemäß besteht eine Walzenform (walzf) durchschnittlich aus 6Stk Formkästen (fkä), 1Stk Kokille (kokil), 3,504929t Formsand (fosa), 0,004945t Harz (harz), 0,022453t Schlichte (schli) und 0,008757t Vernetzer (verne).

**5.3.9 KOKILLENBEARBEITUNG/KOKIB**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | fkä_K → fkä                           |
| 2      | fkä_n → fkä                           |
| 3      | kok_K → kokil                         |
| 4      | kok_n → kokil                         |

In der Kokillensbearbeitung werden sowohl die neu zugelieferten Formkästen und Kokillen (fkä\_n und kok\_n), als auch die gebrauchten Formkästen und Kokillen aus der Gießerei (fkä\_K und kok\_K) nachbearbeitet. Es entstehen in Wirklichkeit keine neuen Stoffe (Komponenten), für das AUDIT-Gleichungssystem werden allerdings zwei neue Stoffe – Formkästen (fkä) und Kokillen (kokil) – erzeugt.

**Prozeß 1 bis 4:**

Die neu zugelieferten und die gebrauchten Formkästen werden zur Gänze in Formkästen (fkä) umgeformt. Das selbe gilt für neu zugelieferte und gebrauchte Kokillen, die beide jeweils vollständig in Kokillen (kokil) verwandelt werden.

**5.3.10 PUTZSCHLEIFMASCHINE/PSM**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift   |
|--------|---|
| 1      | verbm → rm_PS   |
| 2      | 3.000e+04rohwa + 4.995e+03wgl-p → 5.000e+03wp-gl + 2.998e+04walz + 5.st_PS + 5.zund |

**Prozeß 1:**

Das komplette eingesetzte Verbrauchsmaterial (verbm) wird zu Restmüll\_PS (rm\_PS) umgewandelt.

**Prozeß 2:**

Zur PUTZSCHLEIFMASCHINE gelangen die 30000t Rohwalzen (rohwa) aus der GIEßEREI und 4995t Walzen aus der GLÜHEREI – Walzen, GL-PSM (wgl-p). Von den 30000t gelangen 5000t direkt in die GLÜHEREI (wp-gl), die restlichen 25000t Rohwalzen bzw. die 4995t Walzen, GL-PSM werden oberflächenbehandelt (abgeschliffen). Dabei entstehen jeweils 5t Zunder (zund) und Staub\_PSM (st\_PS). Die verbleibenden 29985t geschliffenen Walzen (walz) werden zur MECHANISCHEN BEARBEITUNG weitergeleitet.

**5.3.11 MECHANISCHE BEARBEITUNG/MB**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift  |
|--------|--|
| 1      | verbm → rm_MB  |
| 2      | vpma → va_MB   |
| 3      | 7.594enel + 0.005öl + 0.1küsm + 0.001putzr + 0.001ölbin + 0.004putzw + 29.985walz → 9.985span + 0.sschl + 7.594proen + 0.005altöl + 0.1küsmv + 0.005övb + 20.wavor |
| 4      | waglú → wafe   |
| 5      | waglú → span   |

**Prozeß 1:**

Das eingesetzte Verbrauchsmaterial (verbm) wird vollständig zu Restmüll\_MB (rm\_MB) umgewandelt.

**Prozeß 2:**

Das in die Anlage MECHANISCHE BEARBEITUNG eingebrachte Verpackungsmaterial (vpma) wird als Verpackungsabfall\_MB (va\_MB) entsorgt.

**Prozeß 3:**

In der MECHANISCHE BEARBEITUNG werden die Walzen (geglühte bzw. geschliffene) durch Drehen und Fräsen etc. auf ihre endgültige Form gebracht (Walzen, fertig) bzw. werden vorgedrehte Werkstücke nochmals zur Oberflächenbehandlung geschickt. Um einen Zusammenhang zwischen den in der MECHANISCHE BEARBEITUNG eingesetzten Hilfsmitteln und Energiemengen mit den Walzen zu bekommen, wird die Menge geschliffener Walzen als Bezugsgröße herangezogen.

Aus 29,985t Walzen (walz) entstehen 20t Walzen, vorgedreht (wavor), 9,98455t Späne (span) und 0,00045t Schleifschlamm (sschl). Für die Bearbeitung dieser 29,985t Walzen (walz) werden 7,59427MWh elektrische Energie (enel), die ohne Verluste in die fiktive Größe Prozeßenergie (proen) umgewandelt werden, benötigt.

An Hilfsmitteln werden, wiederum pro 29,985t Walzen (walz), 0,005t Öl (öl), 0,1t Kühl/Schmierstoffe (küsm), 0,0005t Putzreste (putzr), 0,0005t Öl\_Bindemittel (ölbin) und 0,004t Putzwolle verbraucht. Aus dieser Menge an Hilfsmitteln entstehen 0,005t Altöl (altöl), 0,1t Kühl/Schmierstoffe, verbr. und 0,005t ÖVB – Öl-verschmutzte-Behälter.

**Prozeß 4 und 5:**

Aus den nochmals geglähten Walzen (wagl $\ddot{u}$ ) werden, durch neuerliche mechanische Bearbeitung, die fertigen Walzen (wafe) – das Endprodukt – hergestellt. Auch bei diesem Arbeitsschritt fallen wieder Späne (span) an. Nachdem das genaue Verhältnis zwischen Spänen und fertigen Walzen nicht bekannt ist, müssen zwei Prozeßvorschriften aufgestellt werden. Aufgrund der im SCHMELZBETRIEB benötigten Spanmenge wird auf die Menge fertiger Walzen zurückgerechnet.

**5.3.12 GLÜHEREI/GL**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                |
|--------|--|
| 1      | wp-gl $\rightarrow$ 0.999wgl-p + 0.001zund           |
| 2      | vpma $\rightarrow$ va_GL                             |
| 3      | verbm $\rightarrow$ rm_GL                            |
| 4      | ffmat $\rightarrow$ ab_GL                            |
| 5      | wavor $\rightarrow$ 0.999wagl $\ddot{u}$ + 0.001zund |

**Prozeß 1:**

Die aus der PUTZSCHLEIFMASCHINE kommenden Walzen (wp-gl) werden vorgegl $\ddot{u}$ ht (um eine bestimmte Qualität zu erreichen) und als Walzen, GL-PSM (wgl-p), wieder zur PUTZSCHLEIFMASCHINE zurücktransportiert. Dabei entstehen pro Tonne Walzen, PSM-GL (wp-gl) 0,001t Zunder (zund).

**Prozeß 2:**

Das in die GLÜHEREI eingebrachte Verpackungsmaterial (vpma) wird als Verpackungsabfall\_GL (va\_GL) entsorgt.

**Prozeß 3:**

Das eingesetzte Verbrauchsmaterial (verbm) wird vollständig zu Restm $\ddot{u}$ ll\_GL (rm\_GL) umgewandelt.

**Prozeß 4:**

Aus dem Feuerfestmaterial (ffmat) entsteht Ausbruch\_GL (ab\_GL).

**Prozeß 5:**

Analog zu Prozeß 1 werden die vorgedrehten Walzen (wavor) w $\ddot{a}$ rmebehandelt. Dabei entstehen ebenfalls wieder 0,1% Zunder (zund).

### 5.3.13 RESTMÜLLSAMMLUNG/RMS

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                      |
|--------|--|
| 1      | 70.rm_GI + 15.rm_FO + 5.rm_MB + 5.rm_PS + 5.rm_GL → 100.rm |

#### Prozeß 1:

Über die Anlage RESTMÜLLSAMMLUNG wird die Aufteilung des Restmülls auf die einzelnen Betriebsbereiche definiert. Dieser Vorschrift liegen Schätzungen des Umweltbeauftragten des Betriebes zugrunde. Die Zahlenwerte in der Prozeßvorschrift entsprechen der prozentuellen Zusammensetzung des gesamten Restmülls (mit Restmüll aus der GIEßEREI = rm\_GI, Restmüll aus der FORMEREI = rm\_FO, Restmüll aus der MECHANISCHEN BEARBEITUNG = rm\_MB, Restmüll aus der PUTZSCHLEIFMASCHINE = rm\_PS, Restmüll aus der GLÜHEREI = rm\_GL).

### 5.3.14 VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG/VAS

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                         |
|--------|---|
| 1      | 50.va_SB + 5.va_GL + 25.va_GI + 5.va_MB + 15.va_FO -> 100.vpa |

#### Prozeß 1:

Die Definition der Zusammensetzung des Verpackungsabfalls ist analog zu Kapitel 5.3.13 RESTMÜLLSAMMLUNG/RMS.

## 5.4 Kennzahlen

Um die erhobenen bzw. berechneten Werte dieses Betriebs mit entsprechenden Werten anderer Eisengießereien vergleichen zu können, werden eine Reihe von Kennzahlen gebildet.

### Anmerkung:

Für Wasserbedarf bzw. Abwasseranfall lagen noch keine Informationen vor.

Tab. 5.4.1 Kennzahlen für Inputstoffe bezogen auf die Schmelze

| Kennzahl (Stoff)    | Wert     | Einheit                        | Bemerkung (Strom)   |
|---------------------|----------|--------------------------------|---|
| Argon               | 0,002948 | t/t Schmelze                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Energie, elektrisch | 0,801249 | MWh/t Schmelze                 | relativer Energieeinsatz im Schmelzbetrieb                  |
| Energie, elektrisch | 0,066334 | MWh/t Schmelze                 | relativer Energieeinsatz in der Entstaubungsanlage          |
| Energie, elektrisch | 0,197254 | MWh/t Schmelze                 | relativer Energieeinsatz in der mechanischen Bearbeitung    |
| Feuerfestmaterial   | 0,094079 | t/t Schmelze                   | Feuerfestmaterial für Gießerei, Glüherei und Schmelzbetrieb |
| Formkästen_neu      | 0,000078 | Stk/t Schmelze                 | I-Formenzulieferstrom                                       |
| Formsand            | 0,093507 | t/t Schmelze                   | gesamter Formsand für Formerei und Gießerei                 |
| Harz                | 0,000117 | t/t Schmelze                   | V1-Formsandstrom  |
| Hilfsmittel         | 0,064935 | t/t Schmelze                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Kokillen_neu        | 0,000286 | Stk/t Schmelze                 | I-Formenzulieferstrom                                       |
| Kühl/Schmierstoffe  | 0,002597 | t/t Schmelze                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Legierungsmittel    | 0,049351 | t/t Schmelze                   | IV-Legierungsmittelstrom                                    |
| Luft                | 0,085714 | Mio m <sup>3</sup> /t Schmelze | Luft, die aus den Werkshallen abgesaugt wird                |
| Öl                  | 0,000130 | t/t Schmelze                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Öl_Bindemittel      | 0,000013 | t/t Schmelze                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Putzreste           | 0,000013 | t/t Schmelze                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Putzwolle           | 0,000104 | t/t Schmelze                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Sauerstoff          | 0,012104 | t/t Schmelze                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Schlichte           | 0,000532 | t/t Schmelze                   | V1-Formsandstrom  |
| Schrott             | 0,366234 | t/t Schmelze                   | II-Schrottzulieferstrom                                     |
| Vernetzer           | 0,000208 | t/t Schmelze                   | V1-Formsandstrom  |

Tab. 5.4.2 Kennzahlen für Outputstoffe bezogen auf die Schmelze

| Kennzahl (Stoff)           | Wert     | Einheit      | Bemerkung (Strom)   |
|----------------------------|----------|--------------|---|
| Altöl                      | 0,000130 | t/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB  |
| Altsand                    | 0,094364 | t/t Schmelze | 26-Deponiestrom_GI  |
| Ausbruch                   | 0,094079 | t/t Schmelze | Ofen -und Pfannenausbruch aus Gießerei, Glüherei und Schmelzbetrieb |
| Deponiemüll                | 0,267532 | t/t Schmelze | C-Deponiestrom  |
| Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 0,002597 | t/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB  |
| ÖVB                        | 0,000130 | t/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB  |
| Restmüll                   | 0,003117 | t/t Schmelze | G-Restmüllstrom   |
| Schlacke                   | 0,079090 | t/t Schmelze | 27-Deponiestrom_SB  |
| Staub_Abluft               | 0,000130 | t/t Schmelze | Staub, der an die Umgebung abgegeben wird                           |
| Verpackungsabfall          | 0,000164 | t/t Schmelze | B-Verpackungsabfallstrom  |
| Walzen, fertig             | 0,415573 | t/t Schmelze | A-Produktstrom  |
| Zunder                     | 0,000779 | t/t Schmelze | G-Restmüllstrom   |

Tab. 5.4.3 Kennzahlen für intern fließende Stoffe bezogen auf die Schmelze

| Kennzahl (Stoff)   | Wert     | Einheit        | Bemerkung (Strom)            |
|--------------------|----------|----------------|------------------------------|
| Eisen, flüssig     | 1,000000 | t/t Schmelze   | 3B-Eisenstrom                |
| Resteisen          | 0,220779 | t/t Schmelze   | 7-Recycleisenstrom           |
| Rohwalzen          | 0,779221 | t/t Schmelze   | 9-Rohwalzenstrom             |
| Schleifschlamm     | 0,000012 | t/t Schmelze   | 29-Recyclespänestrom         |
| Späne              | 0,362727 | t/t Schmelze   | 29-Recyclespänestrom         |
| Staub_PSM          | 0,000130 | t/t Schmelze   | 6B-Putzstaubstrom            |
| Walzen             | 0,778831 | t/t Schmelze   | 14A-Walzenstrom (geputzt)    |
| Walzen, fertig     | 0,415573 | t/t Schmelze   | A-Produktstrom               |
| Walzen, geglüht    | 0,518961 | t/t Schmelze   | 13-Walzenstrom (geglühte)    |
| Walzen, GL-PSM     | 0,129740 | t/t Schmelze   | 15-Walzenstrom (ungeputzt)   |
| Walzen, PSM-GL     | 0,129870 | t/t Schmelze   | 14B-Walzenstrom (geputzt)    |
| Walzen, vorgedreht | 0,519481 | t/t Schmelze   | 12-Walzenstrom (vorgedrehte) |
| Walzenformen       | 0,023714 | Stk/t Schmelze | 2-Walzenformenstrom          |

Tab. 5.4.4 Kennzahlen für Inpustoffe bezogen auf das Produkt

| Kennzahl (Stoff)    | Wert     | Einheit                       | Bemerkung (Strom)   |
|---------------------|----------|-------------------------------|---|
| Argon               | 0,007094 | t/t Produkt                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Energie, elektrisch | 1,928059 | MWh/t Produkt                 | relativer Energieeinsatz im Schmelzbetrieb                  |
| Energie, elektrisch | 0,474655 | MWh/t Produkt                 | relativer Energieeinsatz in der mechanischen Bearbeitung    |
| Energie, elektrisch | 0,159620 | MWh/t Produkt                 | relativer Energieeinsatz in der Entstaubungsanlage          |
| Feuerfestmaterial   | 0,226384 | t/t Produkt                   | Feuerfestmaterial für Gießerei, Glüherei und Schmelzbetrieb |
| Formkästen_neu      | 0,000188 | Stk/t Produkt                 | I-Formenzulieferstrom                                       |
| Formsand            | 0,200288 | t/t Produkt                   | gesamter Formsand für Formerei und Gießerei                 |
| Harz                | 0,000282 | t/t Produkt                   | V1-Formsandstrom  |
| Hilfsmittel         | 0,156254 | t/t Produkt                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Kokillen_neu        | 0,000688 | Stk/t Produkt                 | I-Formenzulieferstrom                                       |
| Kühl/Schmierstoffe  | 0,006250 | t/t Produkt                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Legierungsmittel    | 0,118753 | t/t Produkt                   | IV-Legierungsmittelstrom                                    |
| Luft                | 0,206256 | Mio m <sup>3</sup> /t Produkt | Luft, die aus den Werkshallen abgesaugt wird                |
| Öl                  | 0,000313 | t/t Produkt                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Öl_Bindemittel      | 0,000031 | t/t Produkt                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Putzreste           | 0,000031 | t/t Produkt                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Putzwolle           | 0,000250 | t/t Produkt                   | VI-Putz/Schmiermittelstrom                                  |
| Sauerstoff          | 0,029126 | t/t Produkt                   | III-Hilfsmittelstrom  |
| Schlichte           | 0,001281 | t/t Produkt                   | V1-Formsandstrom  |
| Schrott             | 0,881275 | t/t Produkt                   | II-Schrottzulieferstrom                                     |
| Staub               | 0,056564 | t/t Produkt                   | Staub, der aus den Werkshallen abgesaugt wird               |
| Vernetzer           | 0,000500 | t/t Produkt                   | V1-Formsandstrom  |

Tab. 5.4.5 Kennzahlen für Outputstoffe bezogen auf das Produkt

| Kennzahl (Stoff)           | Wert     | Einheit     | Bemerkung (Strom)   |
|----------------------------|----------|-------------|---|
| Altöl                      | 0,000313 | t/t Produkt | D-Abfallstrom_MB  |
| Altsand                    | 0,227070 | t/t Produkt | 26-Deponiestrom_GI  |
| Ausbruch                   | 0,226384 | t/t Produkt | Ofen -und Pfannenausbruch aus Gießerei, Glüherei und Schmelzbetrieb |
| Deponiemüll                | 0,643768 | t/t Produkt | C-Deponiestrom  |
| Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 0,006250 | t/t Produkt | D-Abfallstrom_MB  |
| ÖVB                        | 0,000313 | t/t Produkt | D-Abfallstrom_MB  |
| Restmüll                   | 0,007500 | t/t Produkt | G-Restmüllstrom   |
| Schlacke                   | 0,190315 | t/t Produkt | 27-Deponiestrom_SB  |
| Staub_Abluft               | 0,000313 | t/t Produkt | Staub, der an die Umgebung abgegeben wird                           |
| Verpackungsabfall          | 0,000394 | t/t Produkt | B-Verpackungsabfallstrom  |
| Walzen, fertig             | 1,000000 | t/t Produkt | A-Produktstrom  |
| Zunder                     | 0,001875 | t/t Produkt | G-Restmüllstrom   |

Tab. 5.4.6 Kennzahlen für intern fließende Stoffe bezogen auf das Produkt

| Kennzahl (Stoff)   | Wert     | Einheit       | Bemerkung (Strom)                                   |
|--------------------|----------|---------------|---|
| Eisen, flüssig     | 2,406318 | t/t Produkt   | 3B-Eisenstrom                                       |
| Resteisen          | 0,531265 | t/t Produkt   | 7-Recycleeisenstrom                                 |
| Rohwalzen          | 1,875053 | t/t Produkt   | 9-Rohwalzenstrom                                    |
| Schleifschlamm     | 0,000028 | t/t Produkt   | 29-Recyclespänestrom                                |
| Späne              | 0,872837 | t/t Produkt   | 29-Recyclespänestrom                                |
| Staub_ENTST        | 0,056252 | t/t Produkt   | Staub, der in den Schmelzbetrieb zurückgeführt wird |
| Staub_PSM          | 0,000313 | t/t Produkt   | 6B-Putzstaubstrom                                   |
| Walzen             | 1,874115 | t/t Produkt   | 14A-Walzenstrom (geputzt)                           |
| Walzen, geglüht    | 1,248785 | t/t Produkt   | 13-Walzenstrom (geglühte)                           |
| Walzen, GL-PSM     | 0,312196 | t/t Produkt   | 15-Walzenstrom (ungeputzt)                          |
| Walzen, PSM-GL     | 0,312509 | t/t Produkt   | 14B-Walzenstrom (geputzt)                           |
| Walzen, vorgedreht | 1,250035 | t/t Produkt   | 12-Walzenstrom (vorgedrehte)                        |
| Walzenformen       | 0,057064 | Stk/t Produkt | 2-Walzenformenstrom                                 |

Tab. 5.4.7 Kostenkennzahlen bezogen auf die Schmelze

| Kennzahl (Stoff)           | Wert    | Einheit       | Bemerkung (Strom/ANLAGE)       |
|----------------------------|---------|---------------|--------------------------------|
| Altöl                      | 0,02    | DM/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB               |
| Argon                      | 7,93    | DM/t Schmelze | III-Hilfsmittelstrom           |
| Deponiemüll                | 5,35    | DM/t Schmelze | C-Deponiestrom                 |
| Energie, elektrisch        | 7,63    | DM/t Schmelze | IX-Energiestrom_E              |
| Energie, elektrisch        | 22,68   | DM/t Schmelze | XI-Energiestrom_MB             |
| Energie, elektrisch        | 92,14   | DM/t Schmelze | X-Energiestrom_SB              |
| Feuerfestmaterial          | 11,85   | DM/t Schmelze | VII1-Feuerfestmaterialstrom_GI |
| Feuerfestmaterial          | 11,85   | DM/t Schmelze | VII2-Feuerfestmaterialstrom_GL |
| Feuerfestmaterial          | 35,56   | DM/t Schmelze | VII3-Feuerfestmaterialstrom_SB |
| Formsand                   | 1,56    | DM/t Schmelze | V2-Gießsandstrom               |
| Formsand                   | 12,47   | DM/t Schmelze | V1-Formsandstrom               |
| Gaskosten GL               | 51,43   | DM/t Schmelze | GLÜHEREI                       |
| Harz                       | 0,69    | DM/t Schmelze | V1-Formsandstrom               |
| Hilfsmittel                | 8,44    | DM/t Schmelze | III-Hilfsmittelstrom           |
| Kühl/Schmierstoffe         | 17,32   | DM/t Schmelze | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 1,04    | DM/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB               |
| Legierungsmittel           | 160,39  | DM/t Schmelze | IV-Legierungsmittelstrom       |
| Öl                         | 0,29    | DM/t Schmelze | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Öl_Bindemittel             | 0,02    | DM/t Schmelze | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| ÖVB                        | 0,12    | DM/t Schmelze | D-Abfallstrom_MB               |
| Putzwolle                  | 0,10    | DM/t Schmelze | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Restmüll                   | 0,62    | DM/t Schmelze | G-Restmüllstrom                |
| Sauerstoff                 | 4,12    | DM/t Schmelze | III-Hilfsmittelstrom           |
| Schlichte                  | 0,84    | DM/t Schmelze | V1-Formsandstrom               |
| Schrott                    | 77,92   | DM/t Schmelze | II-Schrottzulieferstrom        |
| Sickerwasser               | 0,10    | DM/t Schmelze | E-Sickerwasserstrom            |
| Vernetzer                  | 1,21    | DM/t Schmelze | V1-Formsandstrom               |
| Verpackungsabfall          | 0,16    | DM/t Schmelze | B-Verpackungsabfallstrom       |
| Walzen, fertig             | 2077,86 | DM/t Schmelze | A-Produktstrom                 |
| Zunder                     | 0,05    | DM/t Schmelze | G-Restmüllstrom                |
| Instandhaltungskosten FO   | 4,83    | DM/t Schmelze | FORMEREI                       |
| Instandhaltungskosten GI   | 22,93   | DM/t Schmelze | GIEßEREI                       |
| Instandhaltungskosten GL   | 3,92    | DM/t Schmelze | GLÜHEREI                       |
| Instandhaltungskosten MB   | 16,59   | DM/t Schmelze | MECHANISCHE BEARBEITUNG        |
| Instandhaltungskosten SB   | 12,07   | DM/t Schmelze | SCHMELZBETRIEB                 |
| Personalkosten GI          | 66,09   | DM/t Schmelze | GIEßEREI                       |
| Personalkosten MB          | 102,83  | DM/t Schmelze | MECHANISCHE BEARBEITUNG        |
| Personalkosten SB          | 56,01   | DM/t Schmelze | SCHMELZBETRIEB                 |

Tab. 5.4.8 Kostenkennzahlen bezogen auf das Produkt

| Kennzahl (Stoff)           | Wert    | Einheit      | Bemerkung (Strom/ANLA)GE       |
|----------------------------|---------|--------------|--------------------------------|
| Altöl                      | 0,05    | DM/t Produkt | D-Abfallstrom_MB               |
| Argon                      | 19,08   | DM/t Produkt | III-Hilfsmittelstrom           |
| Deponiemüll                | 12,88   | DM/t Produkt | C-Deponiestrom                 |
| Energie, elektrisch        | 18,36   | DM/t Produkt | IX-Energiestrom_E              |
| Energie, elektrisch        | 54,59   | DM/t Produkt | XI-Energiestrom_MB             |
| Energie, elektrisch        | 221,73  | DM/t Produkt | X-Energiestrom_SB              |
| Feuerfestmaterial          | 28,52   | DM/t Produkt | VII1-Feuerfestmaterialstrom_GI |
| Feuerfestmaterial          | 28,52   | DM/t Produkt | VII2-Feuerfestmaterialstrom_GL |
| Feuerfestmaterial          | 85,57   | DM/t Produkt | VII3-Feuerfestmaterialstrom_SB |
| Formsand                   | 3,75    | DM/t Produkt | V2-Gießsandstrom               |
| Formsand                   | 30,00   | DM/t Produkt | V1-Formsandstrom               |
| Gaskosten GL               | 123,75  | DM/t Produkt | GLÜHEREI                       |
| Harz                       | 1,67    | DM/t Produkt | V1-Formsandstrom               |
| Hilfsmittel                | 20,31   | DM/t Produkt | III-Hilfsmittelstrom           |
| Kühl/Schmierstoffe         | 41,69   | DM/t Produkt | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Kühl/Schmierstoffe, verbr. | 2,50    | DM/t Produkt | D-Abfallstrom_MB               |
| Legierungsmittel           | 385,95  | DM/t Produkt | IV-Legierungsmittelstrom       |
| Öl                         | 0,69    | DM/t Produkt | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Öl Bindemittel             | 0,06    | DM/t Produkt | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| ÖVB                        | 0,28    | DM/t Produkt | D-Abfallstrom_MB               |
| Putzwolle                  | 0,24    | DM/t Produkt | VI-Putz/Schmiermittelstrom     |
| Restmüll                   | 1,50    | DM/t Produkt | G-Restmüllstrom                |
| Sauerstoff                 | 9,90    | DM/t Produkt | III-Hilfsmittelstrom           |
| Schlichte                  | 2,01    | DM/t Produkt | V1-Formsandstrom               |
| Schrott                    | 187,51  | DM/t Produkt | II-Schrottzulieferstrom        |
| Sickerwasser               | 0,23    | DM/t Produkt | E-Sickerwasserstrom            |
| Vernetzer                  | 2,92    | DM/t Produkt | V1-Formsandstrom               |
| Verpackungsabfall          | 0,38    | DM/t Produkt | B-Verpackungabfallstrom        |
| Walzen, fertig             | 5000,00 | DM/t Produkt | A-Produktstrom                 |
| Zunder                     | 0,11    | DM/t Produkt | G-Restmüllstrom                |
| Instandhaltungskosten FO   | 11,62   | DM/t Produkt | FORMEREI                       |
| Instandhaltungskosten GI   | 55,17   | DM/t Produkt | GIEßEREI                       |
| Instandhaltungskosten GL   | 9,44    | DM/t Produkt | GLÜHEREI                       |
| Instandhaltungskosten MB   | 39,92   | DM/t Produkt | MECHANISCHE BEARBEITUNG        |
| Instandhaltungskosten SB   | 29,04   | DM/t Produkt | SCHMELZBETRIEB                 |
| Personalkosten GI          | 159,03  | DM/t Produkt | GIEßEREI                       |
| Personalkosten MB          | 247,44  | DM/t Produkt | MECHANISCHE BEARBEITUNG        |
| Personalkosten SB          | 134,77  | DM/t Produkt | SCHMELZBETRIEB                 |

Tab. 5.4.9 Abluftbezogene Kennzahlen

| Kennzahl (Stoff)        | Wert    | Einheit                     | Bemerkung (Strom)  |
|-------------------------|---------|-----------------------------|--|
| <i>Staubgehalt vor</i>  | 274,24  | mg/m <sup>3</sup> Luft      | Staubgehalt der abgesaugten Luft                         |
| <i>Staubgehalt nach</i> | 1,52    | mg/m <sup>3</sup> Luft      | Staubgehalt der Luft, die an die Umgebung abgegeben wird |
| <i>Energieeinsatz</i>   | 773,891 | kWh/Mio m <sup>3</sup> Luft | in der Anlage Absaugung                                  |
| <i>Energiekosten</i>    | 88,997  | DM/Mio m <sup>3</sup> Luft  | in der Anlage Absaugung                                  |

Mit der neuen Schlauchfilteranlage wird ein Entstaubungsgrad von

$$\eta = 99,45\%$$

erreicht. Damit dürfte das Optimierungspotential in diesem Bereich schon ausgeschöpft sein.

Tab. 5.4.10 Kennzahlen bezogen auf den Formsand

| Kennzahl (Stoff) | Wert     | Einheit      | Bemerkung (Strom) |
|------------------|----------|--------------|-------------------|
| <i>Harz</i>      | 0,001411 | t/t Formsand | V1-Formsandstrom  |
| <i>Schlichte</i> | 0,006406 | t/t Formsand | V1-Formsandstrom  |
| <i>Vernetzer</i> | 0,002498 | t/t Formsand | V1-Formsandstrom  |

## 5.5 Graphische Darstellungen der Bilanzergebnisse

Unter graphischer Darstellung ist die Auswertung der Bilanzergebnisse mit den AUDIT-Tools CHART und SANKEY zu verstehen, wobei in diesem Kapitel nur einige mögliche Darstellung herausgegriffen werden. Für den Benutzer von AUDIT ist es natürliches einfach, mit der bilanzierten Variante weitere Graphiken zu erzeugen.

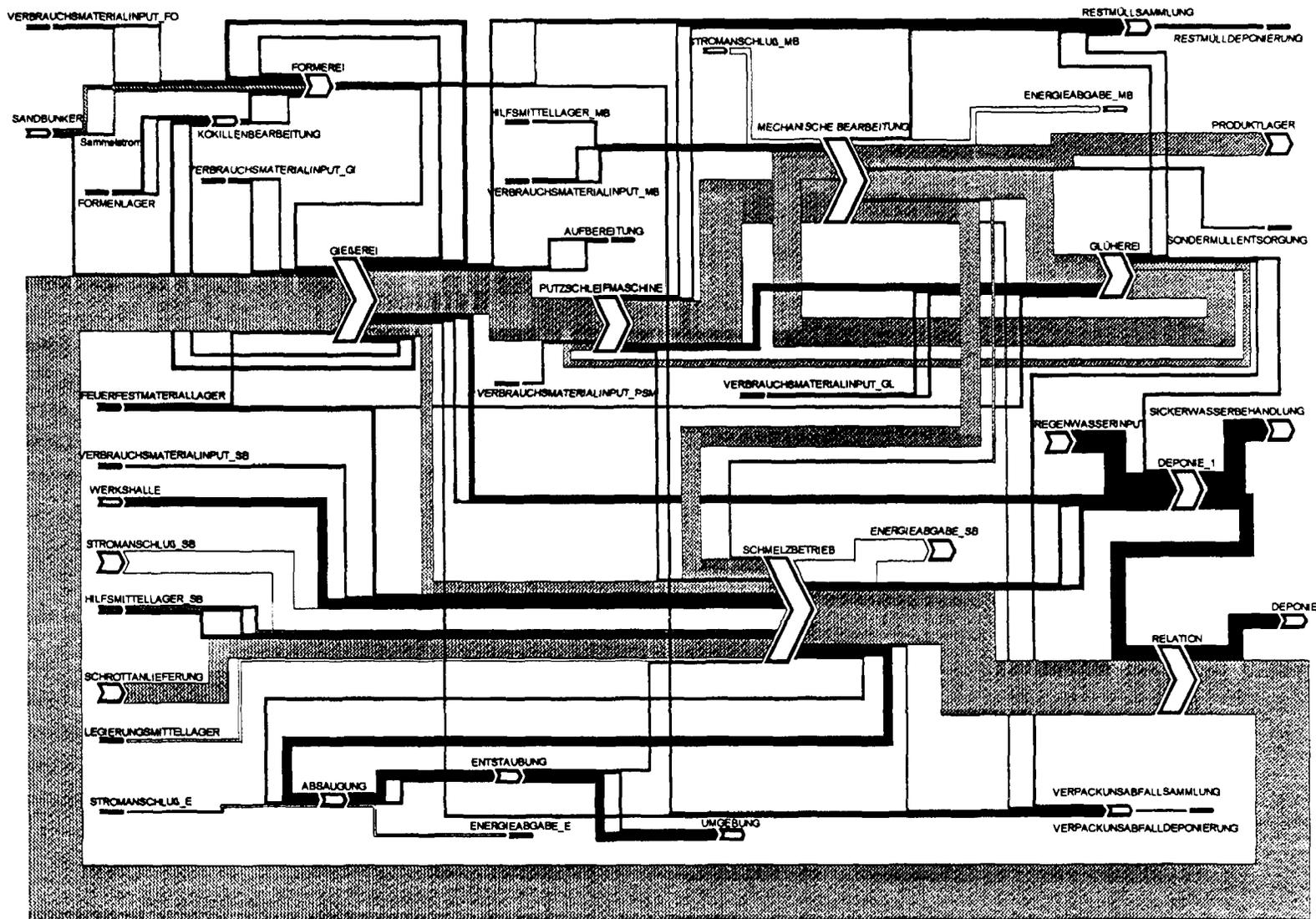


Abb. 5.5.1 Sankeydarstellung der Variante WALZEN

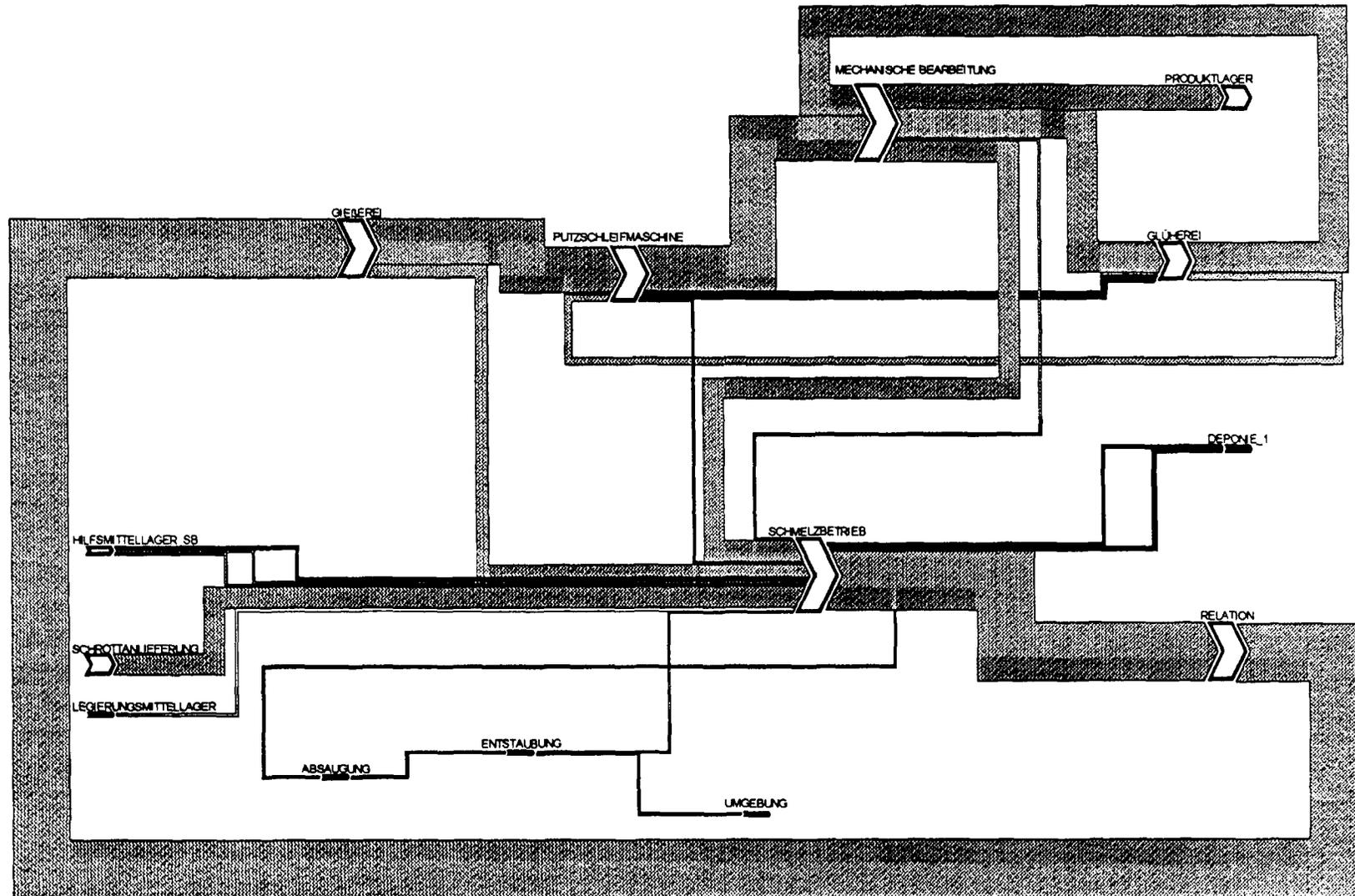


Abb. 5.5.2 Kreislauf der Stoffe, die mit der Schmelze in Zusammenhang stehen

## Aufteilung der Einsatzstoffe für den Schmelzbetrieb

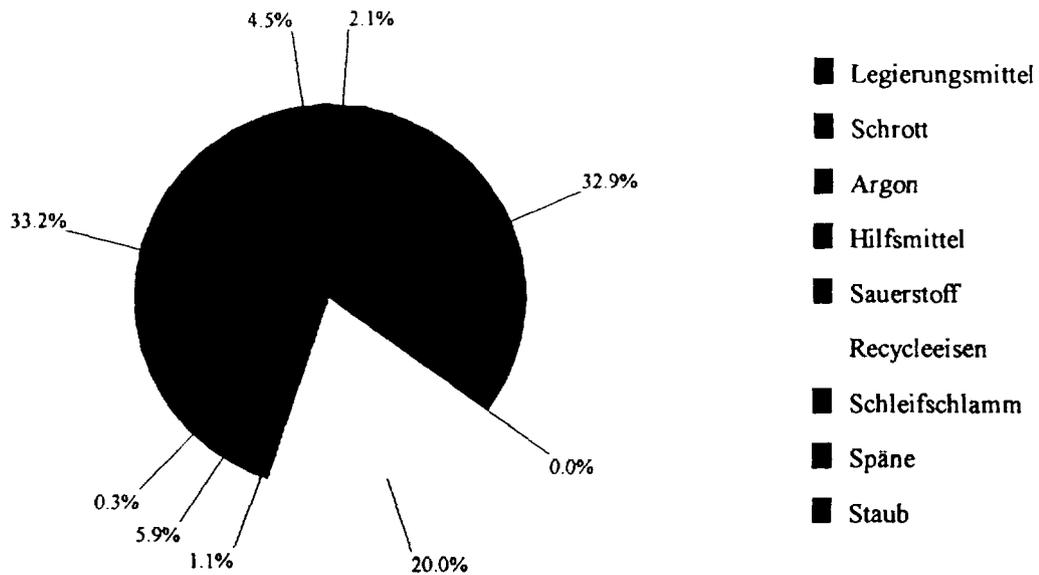


Abb. 5.5.3 Aufteilung der Einsatzstoffe für den Schmelzbetrieb

## Zusammensetzung des Deponiemülls

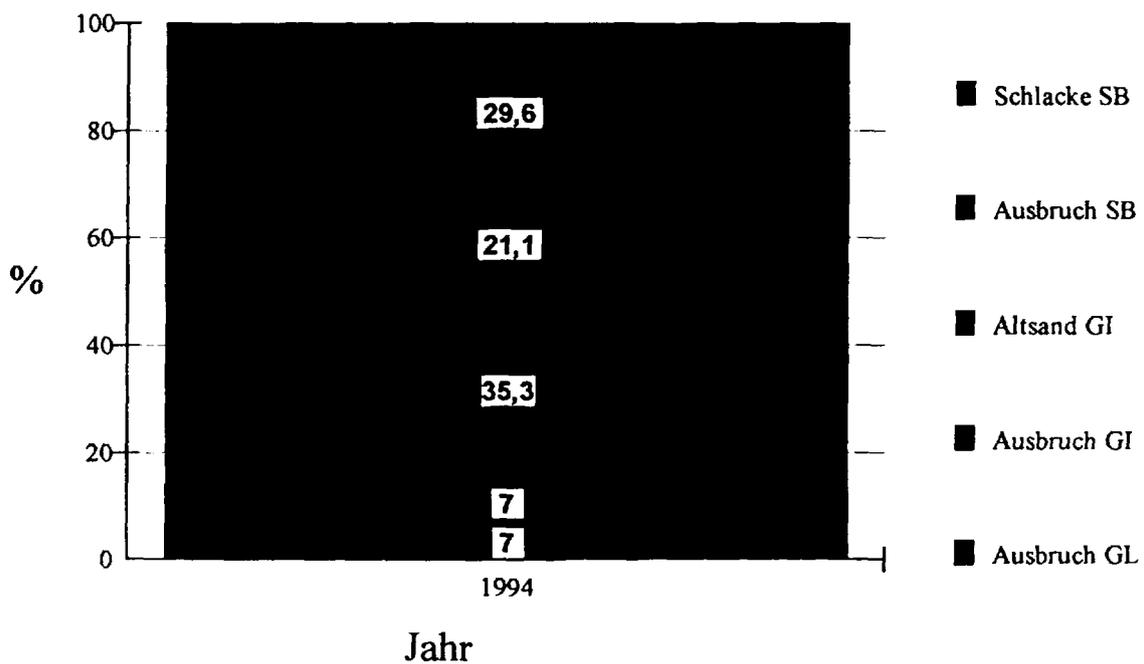


Abb. 5.5.4 Zusammensetzung des Deponiemülls

## Prozentuelle Aufteilung des Restmülls

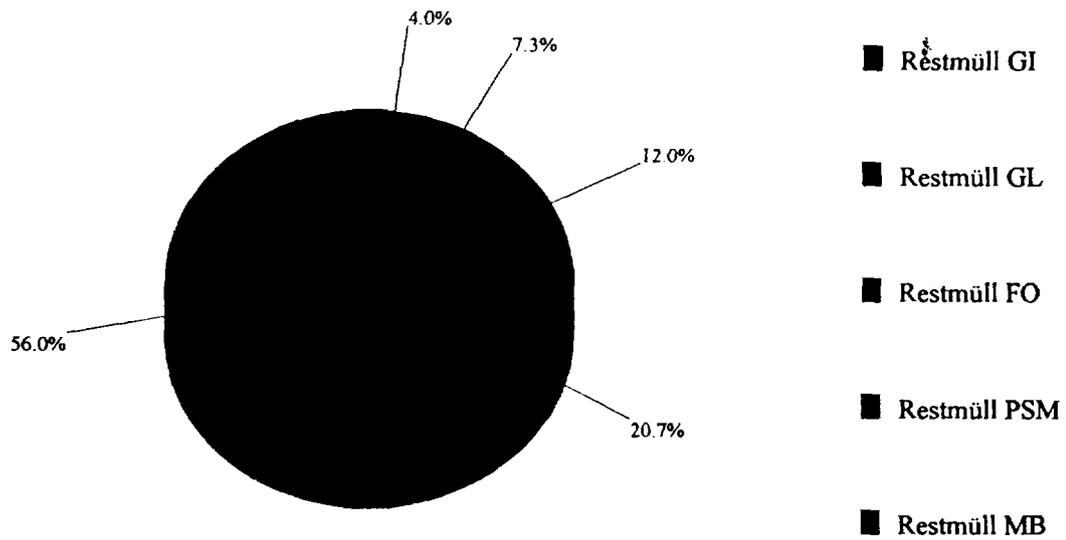


Abb. 5.5.5 Prozentuelle Aufteilung des Restmülls

## Kostenvergleich

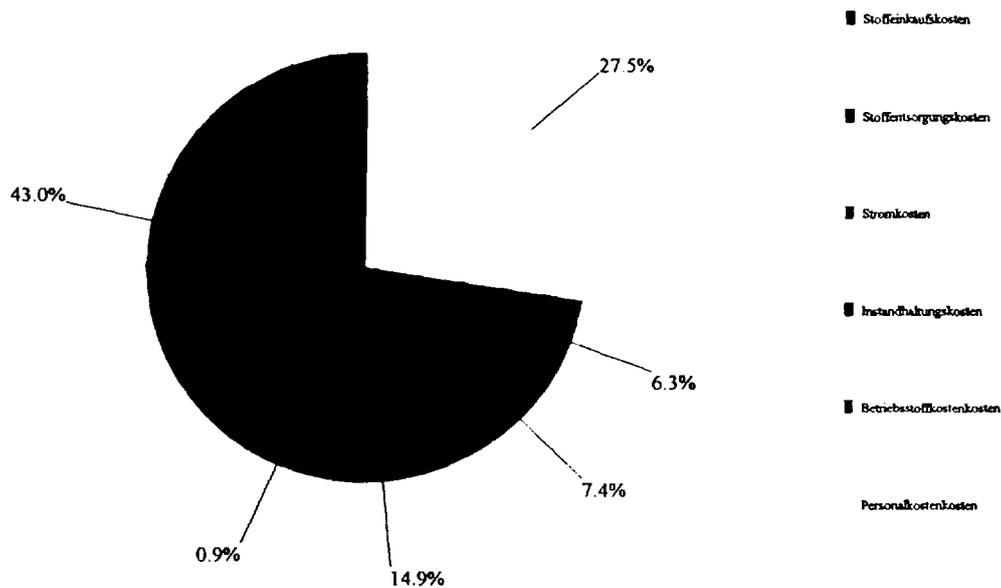


Abb. 5.5.6 Vergleich der vorliegenden Kosten (siehe auch Tab. 5.2.10 Kostenübersicht für das Jahr 1994)

## 6 DARSTELLUNG EINER LEICHTMETALLGIEßEREI MIT AUDIT

|                  |                 |                          |                     |
|------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| <i>Varianten</i> | <i>ALU4GUSS</i> | <i>(Deutscher Text)</i>  | <i>mit TNV/TSR</i>  |
|                  | <i>ALU_ALT</i>  | <i>(Deutscher Text)</i>  | <i>ohne TNV/TSR</i> |
|                  | <i>ALU4GUSE</i> | <i>(Englischer Text)</i> | <i>mit TNV/TSR</i>  |
|                  | <i>ALU4GSEO</i> | <i>(Englischer Text)</i> | <i>ohne TNV/TSR</i> |

## 6.1 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens

Bei der vorliegenden Variante handelt es sich um die Darstellung des Ist-Zustandes einer Leichtmetallgießerei. Der Betrieb hat sich auf die Fertigung von Zulieferteilen für die Kfz-Industrie (Zylinderköpfe, Getriebeteile) spezialisiert. Für die Modellierung mit AUDIT waren die Betriebsteile

- Kernmacherei
  - Schmelzbetrieb
  - Gießerei
  - Gußputzerei
  - Thermische Nachverbrennungs- und Sandregenerationsanlage (TNV – TSR)
- von besonderer Bedeutung.

In der **Kernmacherei** werden nach drei verschiedenen Verfahren (Cold-Box, Hot-Box und Pep-Set) Kerne, die den unterschiedlichen Anforderungen entsprechen, hergestellt.

Im **Schmelzbetrieb** werden zugekauftes Recyclealuminium und das Kreislaufaluminium in Niederfrequenz-Induktionstiegelöfen geschmolzen. (Die Energiesituation in diesem Anlagenbereich wird in dieser Variante nicht betrachtet.)

In der **Gießerei** wird das flüssige Aluminium aus dem Schmelzbetrieb auf vier unterschiedliche Arten – Kokillen-, Druck-, Niederdruck- und Sonderguß – vergossen.

Nach dem Abtrennen der Angußsysteme und dem Endsanden werden die Gußstücke durch Säge- bzw. Fräsmaschinen weiterbearbeitet. Oberflächenbehandlungen durch Strahlanlagen und Wärmebehandlungen werden ebenfalls durchgeführt.

In der **TNV – TSR** (Thermische Nachverbrennung – Thermische Sandregeneration) werden einerseits die organischen Komponenten der Abluft aus der Kokillengießerei oxidiert, um die Geruchsbelästigung zu vermindern, andererseits wird der Altsand von Harzpartikeln befreit, um wieder in die Produktion zurückgeführt werden zu können. (Für einen Vergleich wird auch der Betrieb ohne TNV – TSR herangezogen.)

## 6.2 Notwendige Eingabedaten

### 6.2.1 Stammdaten – Variantendaten

Tab. 6.2.1 Die wesentlichen Variantendaten

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| Betrachtungszeiteinheit [ZE]:   | Jahr          |
| Bilanzierungszeiteinheit [BZE]: | Jahr          |
| Umrechnungsfaktor [BZE] → [ZE]: | 1             |
| Gültig von:                     | 1991 bis 2000 |

### 6.2.2 Stammdaten – Stoffdaten

Tab. 6.2.2 Stofftabelle

| Nr. | Stoffname                     | Kurzname | Stofftyp      | Stoffeinheit |
|-----|-------------------------------|----------|---------------|--------------|
| 1   | Altsand                       | alts     | Abfallstoff   | Masse/kg     |
| 2   | Altsand KG                    | altkg    | Abfallstoff   | Masse/kg     |
| 3   | Aluminium                     | alu      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 4   | Aluminiumschmelze             | alusm    | Hilfsstoff    | Masse/kg     |
| 5   | Aminsulfatlösung              | aslsg    | Abfallstoff   | Masse/kg     |
| 6   | CB-Kerne                      | cbk      | Hilfsstoff    | Masse/kg     |
| 7   | Coverlux                      | cvl      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 8   | Dag 193T                      | dag      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 9   | Dursalit N4                   | dn4      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 10  | Eba alu 10                    | eba10    | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 11  | Energie                       | energ    | Energieträger | Energie/kJ   |
| 12  | Erdgas                        | eg       | Hilfsstoff    | Masse/kg     |
| 13  | Feinstaub                     | fs       | Abfallstoff   | Masse/kg     |
| 14  | Harz                          | harz     | Hilfsstoff    | Masse/kg     |
| 15  | HB-Kerne                      | hbk      | Hilfsstoff    | Masse/kg     |
| 16  | Hebrosynt                     | heb      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 17  | Honilo981                     | ho981    | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 18  | Hydrokollag Kokillenschlichte | hyd      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 19  | Härter MB                     | hmb      | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 20  | Isocure 355                   | i355     | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 21  | Isocure 655                   | i655     | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 22  | Isocure Teil II               | iso2     | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 23  | Isolierschichten              | isoli    | Abfallstoff   | Masse/kg     |
| 24  | Katalysator 3595W             | katw     | Rohstoff      | Masse/kg     |
| 25  | Katalysator DI                | katdi    | Rohstoff      | Masse/kg     |

| Nr. | Stoffname               | Kurzname | Stofftyp    | Stoffeinheit |
|-----|-------------------------|----------|-------------|--------------|
| 26  | Katalysator DI verbr.   | kdive    | Schadstoff  | Masse/kg     |
| 27  | Kohlendioxid            | co2      | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 28  | Kreislaufaluminium      | kralu    | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 29  | Krätze                  | krä      | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 30  | Luft                    | luft     | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 31  | Lösungsmittel           | lm       | Schadstoff  | Masse/kg     |
| 32  | organische Verbindungen | orgv     | Schadstoff  | Masse/kg     |
| 33  | P3 almeco seal          | p3       | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 34  | Pep-Set 1505            | ps15     | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 35  | Piston PS               | pps      | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 36  | Produkt DG              | pdg      | Produkt     | Masse/kg     |
| 37  | Produkt KG              | pkg      | Produkt     | Masse/kg     |
| 38  | Produkt NDG             | pndg     | Produkt     | Masse/kg     |
| 39  | Produkt SG              | psg      | Produkt     | Masse/kg     |
| 40  | PS-Kerne                | psk      | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 41  | Pufferlösung 10%        | co3      | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 42  | Resital TN              | restn    | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 43  | Sand                    | sand     | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 44  | Sand verunreinigt       | sanvu    | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 45  | Sauerstoff              | o2       | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 46  | Schwefelsäure 37%       | h2so4    | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 47  | Silifin                 | silif    | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 48  | Silikonöl               | silöl    | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 49  | Späne                   | spä      | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 50  | Spülstickstoff          | n2       | Rohstoff    | Masse/kg     |
| 51  | Spülstickstoff verbr.   | n2ver    | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 52  | Stahlkugeln             | stk      | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 53  | Stahlkugelreste         | str      | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 54  | Stickstoff              | stick    | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 55  | Trennex AL              | texal    | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 56  | Trennlösung SL7040      | 7040     | Hilfsstoff  | Masse/kg     |
| 57  | Trennmittellösung DG    | tmdg     | Abfallstoff | Masse/kg     |
| 58  | Wasser                  | wa       | Hilfsstoff  | Masse/kg     |



## 6.2.4 Prozeßdaten

Tab. 6.2.3 Inputanlagen

| Nr. | Bezeichnung                 | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp   |
|-----|-----------------------------|-----------------|-------------|
| 1   | CB-CHEMIKALIENLAGER         | CBCL            | Inputanlage |
| 2   | CB-LUFT                     | CBL             | Inputanlage |
| 3   | DG-CHEMIKALIENLAGER         | DGCL            | Inputanlage |
| 4   | ERDGASTANK                  | EGTK            | Inputanlage |
| 5   | HB-CHEMIKALIENLAGER         | HBCL            | Inputanlage |
| 6   | HB-LUFT                     | HBL             | Inputanlage |
| 7   | KG-CHEMIKALIENLAGER         | KGCL            | Inputanlage |
| 8   | KORROSIONSSCHUTZMITTELINPUT | KORIN           | Inputanlage |
| 9   | LUFTVERTEILER               | LFVER           | Inputanlage |
| 10  | NE-WASSERZUFUHR             | NEWAZ           | Inputanlage |
| 11  | NEUALUMINIUM                | NAL             | Inputanlage |
| 12  | NEUSANDLAGER                | NSL             | Inputanlage |
| 13  | PS-CHEMIKALIENLAGER         | PSCL            | Inputanlage |
| 14  | PS-LUFT                     | PSL             | Inputanlage |
| 15  | SB-CHEMIKALIENLAGER         | SBCL            | Inputanlage |
| 16  | STAHLKUGELLAGER             | STKL            | Inputanlage |
| 17  | WASCHFLÜSSIGKEITSLAGER      | WFLL            | Inputanlage |

Tab. 6.2.4 Outputanlagen

| Nr. | Bezeichnung                  | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp    |
|-----|------------------------------|-----------------|--------------|
| 1   | CHEMIKALIENABFALL            | CHEAB           | Outputanlage |
| 2   | DG-PRODUKTLAGER              | DGPL            | Outputanlage |
| 3   | DG-STAHLKUGELABFALL          | DGSKA           | Outputanlage |
| 4   | ENTSORGUNG AMINSULFATLÖSUNG  | EAS             | Outputanlage |
| 5   | ENTSORGUNG TRENNMITTELLÖSUNG | ESTML           | Outputanlage |
| 6   | FEINSTAUB AUSTRAG            | FSA             | Outputanlage |
| 7   | KAMIN 1                      | K1              | Outputanlage |
| 8   | KAMIN 2                      | K2              | Outputanlage |
| 9   | KG-PRODUKTLAGER              | KGPL            | Outputanlage |
| 10  | KG-SPANABFALL                | KGSA            | Outputanlage |
| 11  | NE-ABWASSERENTSORGUNG        | NEAWE           | Outputanlage |
| 12  | NDG-ABGASANLAGE              | NDGAA           | Outputanlage |
| 13  | NDG-PRODUKTLAGER             | NDGPL           | Outputanlage |
| 14  | NDG-SPANABFALL               | NDGSA           | Outputanlage |

| Nr. | Bezeichnung             | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp    |
|-----|-------------------------|-----------------|--------------|
| 15  | NE-HALLENABLUFT         | NEHAL           | Outputanlage |
| 16  | NE-STAUVENTSORGUNG      | NESTE           | Outputanlage |
| 17  | NEBENPRODUKT            | NEPD            | Outputanlage |
| 18  | SG-PRODUKTLAGER         | SGPL            | Outputanlage |
| 19  | SG-SPANABFALL           | SGSA            | Outputanlage |
| 20  | SG-VERDUNSTUNGSVERLUSTE | SGVDV           | Outputanlage |
| 21  | SPÜLSTICKSTOFFAUSTRAG   | SNA             | Outputanlage |
| 22  | VERDUNSTUNGSVERLUST     | VV              | Outputanlage |

Tab. 6.2.5 Verarbeitungsanlagen

| Nr. | Bezeichnung           | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp   |
|-----|-----------------------|-----------------|-------------|
| 1   | ABSAUGUNG             | ABS             | Umverteiler |
| 2   | ALTSANDBUNKER         | ASB             | Umwandler   |
| 3   | CB-KERNEVERTEILER     | CBKV            | Umverteiler |
| 4   | COLD-BOX-KERNMACHEREI | CBKM            | Umwandler   |
| 5   | DRUCKGUß              | DG              | Umwandler   |
| 6   | ENDKONTROLLE          | EK              | Umwandler   |
| 7   | HB-KERNEVERTEILER     | HBKV            | Umverteiler |
| 8   | HOT-BOX-KERNMACHEREI  | HBKM            | Umwandler   |
| 9   | KERNZWISCHENLAGER     | KZL             | Umverteiler |
| 10  | KG-GUßPUTZEREI        | KGPP            | Umwandler   |
| 11  | KOKILLENGIEßEREI      | KG              | Umwandler   |
| 12  | NAßENTSTAUBER         | NE              | Umverteiler |
| 13  | NDG-GUßPUTZEREI       | NDGPP           | Umwandler   |
| 14  | NIEDERDRUCKGUß        | NDG             | Umwandler   |
| 15  | PEP-SET-KERNMACHEREI  | PSKM            | Umwandler   |
| 16  | PS-KERNEVERTEILER     | PSKV            | Umverteiler |
| 17  | SANDBUNKER            | SBU             | Umverteiler |
| 18  | SÄUREWÄSCHER          | SW              | Umwandler   |
| 19  | SCHMELZBETRIEB        | SB              | Umwandler   |
| 20  | SCHMELZEVERTEILER     | SCHVE           | Umverteiler |
| 21  | SG-GUßPUTZEREI HAND   | SGGPH           | Umwandler   |
| 22  | SONDERGUß             | SG              | Umwandler   |
| 23  | STRAHLANLAGE          | STR             | Umwandler   |
| 24  | TNV/TSR               | TNVSR           | Umwandler   |

Tab. 6.2.6 Stromtabelle

| Nr. | Bezeichnung                     | Kurzbezeichnung |
|-----|---------------------------------|-----------------|
| 1   | Abluft Recyclestrom             | alrys           |
| 2   | Altsand Recyclestrom            | asrys           |
| 3   | Aluminiummasselstrom            | alms            |
| 4   | Aminsulfatlösungstrom           | amsls           |
| 5   | CB Abluftstrom                  | cbals           |
| 6   | CB Chemikalienstrom             | cbcs            |
| 7   | CB ger. Abluftstrom             | cbgas           |
| 8   | CB Kernbruchstrom               | cbkbs           |
| 9   | CB Kernstrom                    | cbks            |
| 10  | CB Kernstrom1                   | cbks1           |
| 11  | CB Luftstrom                    | cbls            |
| 12  | CB Sandstrom                    | cbss            |
| 13  | CB-SG Kernstrom                 | cbsgk           |
| 14  | DG Chemikalienstrom             | dgcs            |
| 15  | DG Gußstückestrom               | dggss           |
| 16  | DG Kreislaufaluminiumstrom      | dgkas           |
| 17  | DG Produktstrom                 | dgps            |
| 18  | DG Schmelzestrom                | dgss            |
| 19  | DG Verlustwasserstrom           | dgvws           |
| 20  | Erdgasstrom                     | egs             |
| 21  | Feinstaubstrom                  | fss             |
| 22  | GP Abluftstrom                  | gpals           |
| 23  | GP Altsandstrom                 | gpass           |
| 24  | GP Luftstrom                    | gpils           |
| 25  | HB Abluftstrom                  | hbabl           |
| 26  | HB Chemikalienstrom             | hbcs            |
| 27  | HB Kernbruchstrom               | hbkbs           |
| 28  | HB Kernstrom                    | hbks            |
| 29  | HB Kernstrom1                   | hbks1           |
| 30  | HB Luftstrom                    | hbils           |
| 31  | HB Sandstrom                    | hbss            |
| 32  | HB-NDG Kernstrom                | hbndg           |
| 33  | Isolierschichtenstrom           | isoss           |
| 34  | Kamin1 Abluftstrom              | k1als           |
| 35  | KG Abluftstrom                  | kgals           |
| 36  | KG Chemikalienstrom             | kgcs            |
| 37  | KG Gußstück/Kernsandpaketestrom | kggk            |
| 38  | KG Gußstückestrom               | kggss           |
| 39  | KG Kernstrom                    | kgks            |
| 40  | KG Kreislaufaluminiumstrom      | kgkas           |
| 41  | KG Luftstrom                    | kgils           |
| 42  | KG Produktstrom                 | kgps            |
| 43  | KG Schmelzestrom                | kgsms           |
| 44  | KG Spänestrom                   | kgss            |

| Nr. | Bezeichnung                      | Kurzbezeichnung |
|-----|----------------------------------|-----------------|
| 45  | Krätzestrom                      | krs             |
| 46  | NDG Abgasstrom                   | ndgas           |
| 47  | NDG Altsandstrom                 | ndgas           |
| 48  | NDG Gußstück/Kernsandpaketestrom | ndggk           |
| 49  | NDG Kreislaufaluminiumstrom      | ndgka           |
| 50  | NDG Produktstrom                 | ndgps           |
| 51  | NDG Schmelzestrom                | ndgsm           |
| 52  | NDG Spänestrom                   | ndgss           |
| 53  | NE Abluftstrom                   | neals           |
| 54  | NE Absaugungsstrom               | neabs           |
| 55  | NE Abwasserstrom                 | neaws           |
| 56  | NE Luftstrom                     | nels            |
| 57  | NE Staubstrom                    | ness            |
| 58  | NE Wasserstrom                   | newas           |
| 59  | Neusandstrom                     | sz              |
| 60  | PS Abluftstrom                   | psals           |
| 61  | PS Chemikalienstrom              | pscs            |
| 62  | PS Kernbruchstrom                | pskbs           |
| 63  | PS Kernestrom                    | psks            |
| 64  | PS Luftstrom                     | psls            |
| 65  | PS Sandstrom                     | psss            |
| 66  | PS-SG Kernestrom                 | pssgk           |
| 67  | Regenerierter Sandstrom          | rss             |
| 68  | SB Chemikalienstrom              | sbcsc           |
| 69  | Schmelzestrom                    | schs            |
| 70  | Schutzmittelstrom                | sms             |
| 71  | SG Altsandstrom                  | sgass           |
| 72  | SG Gußstück/Kernsandstrom        | sggks           |
| 73  | SG Kreislaufaluminiumstrom       | sgkas           |
| 74  | SG org. Abfallstrom              | sgoas           |
| 75  | SG Produktstrom                  | sgps            |
| 76  | SG Schmelzestrom                 | sgsms           |
| 77  | SG Spänestrom                    | sgsps           |
| 78  | Spülstickstoffstrom              | spns            |
| 79  | Stahlabfallstrom                 | stabs           |
| 80  | Stahlkugeleinsatzstrom           | skes            |
| 81  | Trennmittelösungsstrom           | tmls            |
| 82  | Waschflüssigkeitsstrom           | wfls            |

Tab. 6.2.7 Bilanzergbnisübersicht (berechnet mit einer Toleranz von 10)

| Nr. | Strom                 | Stoff                   | 1997       | Einheit | Quelle                | Ziel                           |
|-----|-----------------------|-------------------------|------------|---------|-----------------------|--------------------------------|
| 1   | Abluft Recyclestrom   | Luft                    | 42 093 750 | kg      | ABSAUGUNG             | TNV/TSR                        |
| 2   | Abluft Recyclestrom   | organische Verbindungen | 17 579     | kg      | ABSAUGUNG             | TNV/TSR                        |
| 3   | Altsand Recyclestrom  | Harz                    | 54 110     | kg      | ALTSANDBUNKER         | TNV/TSR                        |
| 4   | Altsand Recyclestrom  | Sand verunreinigt       | 7 459 264  | kg      | ALTSANDBUNKER         | TNV/TSR                        |
| 5   | Aluminiummasselstrom  | Aluminium               | 6 216 000  | kg      | NEUALUMINIUM          | SCHMELZBETRIEB                 |
| 6   | Aminsulfatlösungstrom | Aminsulfatlösung        | 18 600     | kg      | SÄUREWÄSCHER          | ENTSORGUNG<br>AMINSULFATLÖSUNG |
| 7   | CB Abluftstrom        | Luft                    | 36 570 000 | kg      | COLD-BOX-KERNMACHEREI | SÄUREWÄSCHER                   |
| 8   | CB Abluftstrom        | organische Verbindungen | 12 780     | kg      | COLD-BOX-KERNMACHEREI | SÄUREWÄSCHER                   |
| 9   | CB Abluftstrom        | Katalysator DI verbr.   | 2 972      | kg      | COLD-BOX-KERNMACHEREI | SÄUREWÄSCHER                   |
| 10  | CB Chemikalienstrom   | Isocure 355             | 28 800     | kg      | CB-CHEMIKALIENLAGER   | COLD-BOX-KERNMACHEREI          |
| 11  | CB Chemikalienstrom   | Isocure 655             | 35 100     | kg      | CB-CHEMIKALIENLAGER   | COLD-BOX-KERNMACHEREI          |
| 12  | CB Chemikalienstrom   | Katalysator DI          | 2 972      | kg      | CB-CHEMIKALIENLAGER   | COLD-BOX-KERNMACHEREI          |
| 13  | CB ger. Abluftstrom   | Kohlendioxid            | 318        | kg      | SÄUREWÄSCHER          | KAMIN 2                        |
| 14  | CB ger. Abluftstrom   | Luft                    | 36 570 000 | kg      | SÄUREWÄSCHER          | KAMIN 2                        |
| 15  | CB ger. Abluftstrom   | organische Verbindungen | 12 780     | kg      | SÄUREWÄSCHER          | KAMIN 2                        |
| 16  | CB Kernbruchstrom     | CB-Kerne                | 549 660    | kg      | CB-KERNEVERTEILER     | ALTSANDBUNKER                  |
| 17  | CB Kernestrom         | CB-Kerne                | 4 865 460  | kg      | CB-KERNEVERTEILER     | KERNZWISCHENLAGER              |
| 18  | CB Kernestrom1        | CB-Kerne                | 5 415 120  | kg      | COLD-BOX-KERNMACHEREI | CB-KERNEVERTEILER              |
| 19  | CB Luftstrom          | Luft                    | 36 570 000 | kg      | CB-LUFT               | COLD-BOX-KERNMACHEREI          |
| 20  | CB Sandstrom          | Sand                    | 5 364 000  | kg      | SANDBUNKER            | COLD-BOX-KERNMACHEREI          |
| 21  | CB-SG Kernestrom      | CB-Kerne                | 74 460     | kg      | KERNZWISCHENLAGER     | SONDERGUß                      |
| 22  | DG Chemikalienstrom   | Trennex AL              | 2 980      | kg      | DG-CHEMIKALIENLAGER   | DRUCKGUß                       |
| 23  | DG Chemikalienstrom   | Trennlösung SL7040      | 210 000    | kg      | DG-CHEMIKALIENLAGER   | DRUCKGUß                       |

| Nr. | Strom                      | Stoff                   | 1991       | Einheit | Quelle               | Ziel                 |
|-----|----------------------------|-------------------------|------------|---------|----------------------|----------------------|
| 24  | DG Gußstückestrom          | Aluminium               | 1 990 701  | kg      | DRUCKGUß             | STRAHLANLAGE         |
| 25  | DG Kreislaufaluminiumstrom | Kreislaufaluminium      | 738 701    | kg      | STRAHLANLAGE         | SCHMELZBETRIEB       |
| 26  | DG Produktstrom            | Produkt DG              | 1 252 001  | kg      | STRAHLANLAGE         | DG-PRODUKTLAGER      |
| 27  | DG Schmelzestrom           | Aluminiumschmelze       | 1 990 701  | kg      | SCHMELZEVERTERLER    | DRUCKGUß             |
| 28  | DG Verlustwasserstrom      | Wasser                  | 10 000     | kg      | DRUCKGUß             | VERDUNSTUNGSVERLUST  |
| 29  | Erdgasstrom                | Erdgas                  | 386 892    | kg      | ERDGASTANK           | TNV/TSR              |
| 30  | Feinstaubstrom             | Feinstaub               | 372 963    | kg      | TNV/TSR              | FEINSTAUB AUSTRAG    |
| 31  | GP Abluftstrom             | Luft                    | 16 656 250 | kg      | KG-GUßPUTZEREI       | ABSAUGUNG            |
| 32  | GP Altsandstrom            | Altsand                 | 5 989 991  | kg      | KG-GUßPUTZEREI       | ALTSANDBUNKER        |
| 33  | GP Luftstrom               | Luft                    | 19 625 000 | kg      | LUFTVERTERLER        | KG-GUßPUTZEREI       |
| 34  | HB Abluftstrom             | Luft                    | 19 848 438 | kg      | HOT-BOX-KERNMACHEREI | KAMIN 2              |
| 35  | HB Abluftstrom             | organische Verbindungen | 3 700      | kg      | HOT-BOX-KERNMACHEREI | KAMIN 2              |
| 36  | HB Chemikalienstrom        | Härter MB               | 2 670      | kg      | HB-CHEMIKALIENLAGER  | HOT-BOX-KERNMACHEREI |
| 37  | HB Chemikalienstrom        | Resital TN              | 14 800     | kg      | HB-CHEMIKALIENLAGER  | HOT-BOX-KERNMACHEREI |
| 38  | HB Chemikalienstrom        | Silikonöl               | 430        | kg      | HB-CHEMIKALIENLAGER  | HOT-BOX-KERNMACHEREI |
| 39  | HB Kernbruchstrom          | HB-Kerne                | 136 800    | kg      | HB-KERNEVERTERLER    | ALTSANDBUNKER        |
| 40  | HB Kernstrom               | HB-Kerne                | 1 218 700  | kg      | HB-KERNEVERTERLER    | KERNZWISCHENLAGER    |
| 41  | HB Kernstrom1              | HB-Kerne                | 1 355 500  | kg      | HOT-BOX-KERNMACHEREI | HB-KERNEVERTERLER    |
| 42  | HB Luftstrom               | Luft                    | 19 848 438 | kg      | HB-LUFT              | HOT-BOX-KERNMACHEREI |
| 43  | HB Sandstrom               | Sand                    | 1 341 300  | kg      | SANDBUNKER           | HOT-BOX-KERNMACHEREI |
| 44  | HB-NDG Kernstrom           | HB-Kerne                | 1 700      | kg      | KERNZWISCHENLAGER    | NIEDERDRUCKGUß       |
| 45  | Isolierschichtenstrom      | Isolierschichten        | 4 265      | kg      | KG-GUßPUTZEREI       | CHEMIKALIENABFALL    |
| 46  | Kamin1 Abluftstrom         | Kohlendioxid            | 1 326 335  | kg      | TNV/TSR              | KAMIN 1              |
| 47  | Kamin1 Abluftstrom         | Luft                    | 42 086 186 | kg      | TNV/TSR              | KAMIN 1              |
| 48  | Kamin1 Abluftstrom         | Wasser                  | 870 507    | kg      | TNV/TSR              | KAMIN 1              |

| Nr. | Strom                            | Stoff                         | 1991       | Einheit | Quelle              | Ziel             |
|-----|----------------------------------|-------------------------------|------------|---------|---------------------|------------------|
| 49  | Kamin1 Abluftstrom               | Energie                       | 20 134 108 | kJ      | TNV/TSR             | KAMIN 1          |
| 50  | Kamin1 Abluftstrom               | Stickstoff                    | 5 781 955  | kg      | TNV/TSR             | KAMIN 1          |
| 51  | KG Abluftstrom                   | Luft                          | 25 437 500 | kg      | KOKILLENGIEßEREI    | ABSAUGUNG        |
| 52  | KG Abluftstrom                   | organische Verbindungen       | 17 579     | kg      | KOKILLENGIEßEREI    | ABSAUGUNG        |
| 53  | KG Chemikalienstrom              | Dag 193T                      | 575        | kg      | KG-CHEMIKALIENLAGER | KOKILLENGIEßEREI |
| 54  | KG Chemikalienstrom              | Hydrokollag Kokillenschlichte | 280        | kg      | KG-CHEMIKALIENLAGER | KOKILLENGIEßEREI |
| 55  | KG Chemikalienstrom              | Piston PS                     | 3 410      | kg      | KG-CHEMIKALIENLAGER | KOKILLENGIEßEREI |
| 56  | KG Gußstück/Kernsandpaketestrom  | Aluminium                     | 8 380 096  | kg      | KOKILLENGIEßEREI    | KG-GUßPUTZEREI   |
| 57  | KG Gußstück/Kernsandpaketestrom  | Isolierschichten              | 4 265      | kg      | KOKILLENGIEßEREI    | KG-GUßPUTZEREI   |
| 58  | KG Gußstück/Kernsandpaketestrom  | Altsand KG                    | 5 990 421  | kg      | KOKILLENGIEßEREI    | KG-GUßPUTZEREI   |
| 59  | KG Gußstückeestrom               | Produkt KG                    | 4 178 798  | kg      | KG-GUßPUTZEREI      | ENDKONTROLLE     |
| 60  | KG Kernestrom                    | CB-Kerne                      | 4 791 000  | kg      | KERNZWISCHENLAGER   | KOKILLENGIEßEREI |
| 61  | KG Kernestrom                    | HB-Kerne                      | 1 217 000  | kg      | KERNZWISCHENLAGER   | KOKILLENGIEßEREI |
| 62  | KG Kreislaufaluminiumstrom       | Kreislaufaluminium            | 3 899 798  | kg      | KG-GUßPUTZEREI      | SCHMELZBETRIEB   |
| 63  | KG Luftstrom                     | Luft                          | 25 437 500 | kg      | LUFTVERTEILER       | KOKILLENGIEßEREI |
| 64  | KG Produktstrom                  | Produkt KG                    | 4 178 823  | kg      | ENDKONTROLLE        | KG-PRODUKTLAGER  |
| 65  | KG Schmelzestrom                 | Aluminiumschmelze             | 8 380 096  | kg      | SCHMELZEVERTILER    | KOKILLENGIEßEREI |
| 66  | KG Spänestrom                    | Späne                         | 301 500    | kg      | KG-GUßPUTZEREI      | KG-SPANABFALL    |
| 67  | Krätzeestrom                     | Krätze                        | 355 000    | kg      | SCHMELZBETRIEB      | NEBENPRODUKT     |
| 68  | NDG Abgasstrom                   | organische Verbindungen       | 5          | kg      | NIEDERDRUCKGUß      | NDG-ABGASANLAGE  |
| 69  | NDG Altsandstrom                 | Altsand                       | 1 695      | kg      | NDG-GUßPUTZEREI     | ALTSANDBUNKER    |
| 70  | NDG Gußstück/Kernsandpaketestrom | Altsand                       | 1 695      | kg      | NIEDERDRUCKGUß      | NDG-GUßPUTZEREI  |
| 71  | NDG Gußstück/Kernsandpaketestrom | Aluminium                     | 91 398     | kg      | NIEDERDRUCKGUß      | NDG-GUßPUTZEREI  |
| 72  | NDG Kreislaufaluminiumstrom      | Kreislaufaluminium            | 24 102     | kg      | NDG-GUßPUTZEREI     | SCHMELZBETRIEB   |
| 73  | NDG Produktstrom                 | Produkt NDG                   | 64 005     | kg      | NDG-GUßPUTZEREI     | NDG-PRODUKTLAGER |

| Nr. | Strom                   | Stoff                   | 1991       | Einheit | Quelle               | Ziel                  |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------|---------|----------------------|-----------------------|
| 74  | NDG Schmelzestrom       | Aluminiumschmelze       | 91 398     | kg      | SCHMELZEVERTILER     | NIEDERDRUCKGUß        |
| 75  | NDG Spänestrom          | Späne                   | 3 290      | kg      | NDG-GUßPUTZEREI      | NDG-SPANABFALL        |
| 76  | NE Abluftstrom          | Luft                    | 4 753 125  | kg      | NAßENTSTAUBER        | NE-HALLENABLUFT       |
| 77  | NE Absaugungsstrom      | Luft                    | 2 968 750  | kg      | KG-GUßPUTZEREI       | NAßENTSTAUBER         |
| 78  | NE Absaugungsstrom      | Feinstaub               | 430        | kg      | KG-GUßPUTZEREI       | NAßENTSTAUBER         |
| 79  | NE Abwasserstrom        | Wasser                  | 1 098 438  | kg      | NAßENTSTAUBER        | NE-ABWASSERENTSORGUNG |
| 80  | NE Luftstrom            | Luft                    | 1 784 375  | kg      | LUFTVERTEILER        | NAßENTSTAUBER         |
| 81  | NE Staubstrom           | Wasser                  | 1 562      | kg      | NAßENTSTAUBER        | NE-STaubENTSORGUNG    |
| 82  | NE Staubstrom           | Feinstaub               | 430        | kg      | NAßENTSTAUBER        | NE-STaubENTSORGUNG    |
| 83  | NE Wasserstrom          | Wasser                  | 1 100 000  | kg      | NE-WASSERZUFUHR      | NAßENTSTAUBER         |
| 84  | Neusandstrom            | Sand                    | 373 299    | kg      | NEUSANDLAGER         | SANDBUNKER            |
| 85  | PS Abluftstrom          | Luft                    | 10 704 688 | kg      | PEP-SET-KERNMACHEREI | KAMIN 2               |
| 86  | PS Abluftstrom          | organische Verbindungen | 2 300      | kg      | PEP-SET-KERNMACHEREI | KAMIN 2               |
| 87  | PS Chemikalienstrom     | Isocure Teil II         | 5 600      | kg      | PS-CHEMIKALIENLAGER  | PEP-SET-KERNMACHEREI  |
| 88  | PS Chemikalienstrom     | Katalysator 3595W       | 85         | kg      | PS-CHEMIKALIENLAGER  | PEP-SET-KERNMACHEREI  |
| 89  | PS Chemikalienstrom     | Pep-Set 1505            | 5 900      | kg      | PS-CHEMIKALIENLAGER  | PEP-SET-KERNMACHEREI  |
| 90  | PS Kernbruchstrom       | PS-Kerne                | 78 685     | kg      | PS-KERNEVERTILER     | ALTSANDBUNKER         |
| 91  | PS Kernestrom           | PS-Kerne                | 763 585    | kg      | PEP-SET-KERNMACHEREI | PS-KERNEVERTILER      |
| 92  | PS Luftstrom            | Luft                    | 10 704 688 | kg      | PS-LUFT              | PEP-SET-KERNMACHEREI  |
| 93  | PS Sandstrom            | Sand                    | 754 300    | kg      | SANDBUNKER           | PEP-SET-KERNMACHEREI  |
| 94  | PS-SG Kernestrom        | PS-Kerne                | 684 900    | kg      | PS-KERNEVERTILER     | SONDERGUß             |
| 95  | Regenerierter Sandstrom | Sand                    | 7 086 301  | kg      | TNV/TSR              | SANDBUNKER            |
| 96  | SB Chemikalienstrom     | Coverlux                | 8 800      | kg      | SB-CHEMIKALIENLAGER  | SCHMELZBETRIEB        |
| 97  | SB Chemikalienstrom     | Dursalit N4             | 200        | kg      | SB-CHEMIKALIENLAGER  | SCHMELZBETRIEB        |
| 98  | SB Chemikalienstrom     | Eba alu 10              | 4 000      | kg      | SB-CHEMIKALIENLAGER  | SCHMELZBETRIEB        |

| Nr. | Strom                      | Stoff                   | 1991              | Einheit | Quelle                           | Ziel                            |
|-----|----------------------------|-------------------------|-------------------|---------|----------------------------------|---------------------------------|
| 99  | SB Chemikalienstrom        | Silifin                 | 1 600             | kg      | SB-CHEMIKALIENLAGER              | SCHMELZBETRIEB                  |
| 100 | SB Chemikalienstrom        | Spülstickstoff          | 5 150             | kg      | SB-CHEMIKALIENLAGER              | SCHMELZBETRIEB                  |
| 101 | Schmelzestrom              | Aluminiumschmelze       | <b>10 640 000</b> | kg      | SCHMELZBETRIEB                   | SCHMELZEVERTILER                |
| 102 | Schutzmittelstrom          | P3 almecco seal         | 25                | kg      | KORROSIONSSCHUTZ-<br>MITTELINPUT | ENDKONTROLLE                    |
| 103 | SG Altsandstrom            | Altsand                 | 756 543           | kg      | SG-GUßPUTZEREI HAND              | ALTSANDBUNKER                   |
| 104 | SG Gußstück/Kernsandstrom  | Altsand                 | 756 543           | kg      | SONDERGUß                        | SG-GUßPUTZEREI HAND             |
| 105 | SG Gußstück/Kernsandstrom  | Aluminium               | 177 805           | kg      | SONDERGUß                        | SG-GUßPUTZEREI HAND             |
| 106 | SG Kreislaufaluminiumstrom | Kreislaufaluminium      | 101 797           | kg      | SG-GUßPUTZEREI HAND              | SCHMELZBETRIEB                  |
| 107 | SG org. Abfallstrom        | organische Verbindungen | 2 817             | kg      | SONDERGUß                        | SG-VERDUNSTUNGSVERLUSTE         |
| 108 | SG Produktstrom            | Produkt SG              | 69 898            | kg      | SG-GUßPUTZEREI HAND              | SG-PRODUKTLAGER                 |
| 109 | SG Schmelzestrom           | Aluminiumschmelze       | 177 805           | kg      | SCHMELZEVERTILER                 | SONDERGUß                       |
| 110 | SG Spänestrom              | Späne                   | 6 110             | kg      | SG-GUßPUTZEREI HAND              | SG-SPANABFALL                   |
| 111 | Spülstickstoffstrom        | Spülstickstoff verbr.   | 5 150             | kg      | SCHMELZBETRIEB                   | SPÜLSTICKSTOFFAUSTRAG           |
| 112 | Stahlabfallstrom           | Stahlkugelreste         | 20 000            | kg      | STRAHLANLAGE                     | DG-STAHLKUGELABFALL             |
| 113 | Stahlkugелеinsatzstrom     | Stahlkugeln             | <b>20 000</b>     | kg      | STAHLKUGELLAGER                  | STRAHLANLAGE                    |
| 114 | Trennmittellösungstrom     | Trennmittellösung DG    | 202 980           | kg      | DRUCKGUß                         | ENTSORGUNG<br>TRENNMITTELLÖSUNG |
| 115 | Waschflüssigkeitsstrom     | Pufferlösung 10%        | 5 856             | kg      | WASCHFLÜSSIGKEITSLAGER           | SÄUREWÄSCHER                    |
| 116 | Waschflüssigkeitsstrom     | Schwefelsäure 37%       | 6 090             | kg      | WASCHFLÜSSIGKEITSLAGER           | SÄUREWÄSCHER                    |
| 117 | Waschflüssigkeitsstrom     | Wasser                  | 4 000             | kg      | WASCHFLÜSSIGKEITSLAGER           | SÄUREWÄSCHER                    |

Die bekannten Werte sind fett und kursiv geschrieben.

## 6.3 Prozeßvorschriften

### 6.3.1 SANDBUNKER /SBU

Vom SANDBUNKER aus wird der Kernsand auf die einzelnen Kernfertigungen (COLD-BOX, HOT-BOX, PEP-SET) aufgeteilt. Da auf den entsprechenden Strömen die Absolutwerte des Stoffes Sand angegeben sind (siehe Tab. 6.2.7 Bilanzergbnisübersicht, Seite 75), wird der SANDBUNKER als Umverteiler ohne Prozeßvorschrift ausgeführt.

### 6.3.2 COLD-BOX-KERNMACHEREI/CBKM

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift   |
|--------|---|
| 1      | 53.64sand + 0.288i355 + 0.351i655 + 0.03katdi → 54.151cbk + 0.128orgv + 0.03kdive |

Prozeß 1:

In der CBKM werden der Sand und die Chemikalien annähernd gemäß der Kernrichtzusammensetzung der Bindemittelhersteller abgemischt.

tatsächliche  
Zusammensetzung

| Bestandteil    | Gew.-% |
|----------------|--------|
| Sand           | 98,82  |
| Isocure 355    | 0,53   |
| Isocure 655    | 0,65   |
| Katalysator DI | 0,05   |

Richtzusammensetzung

| Bestandteil    | Gew.-% |
|----------------|--------|
| Sand           | 98,6   |
| Isocure 355    | 0,7    |
| Isocure 655    | 0,7    |
| Katalysator DI | 0,03   |

In der Vorschrift werden die Faktoren in Bezug zu dem Absolutwert – 5 364 000kg Sand – eingegeben. Als Zwischenprodukt erhält man die Cold-Box-Kerne (cbk), sowie organische Verbindungen (orgv) und den verbrauchten Katalysator (kdive) als Schadstoffe in der Luft.

### 6.3.3 SÄUREWÄSCHER/SW

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift   |
|--------|---|
| 1      | 2.972e+03kdive + 6.090e+03h2so4 + 4.000e+03wa + 5.856e+03co3 → 1.860e+04aslsg + 318.co2 |

Prozeß 1:

Im Säurewäscher wird der verbrauchte Katalysator (tertiäres Amin) mit einer Wasch-

flüssigkeit – Schwefelsäure 37% (h<sub>2</sub>so<sub>4</sub>) – aus dem Abgas ausgewaschen. Zur pH-Wertregulierung wird Wasser (wa), zur Pufferung der Aminsulfatlösung (asls<sub>g</sub>) wird Natriumkarbonatlösung zugesetzt. Es wird das 1,13-fache der stöchiometrischen Menge der Schwefelsäure verbraucht. Auf diesen Wert (6090kg Schwefelsäure) beziehen sich auch die Faktoren in der Prozeßvorschrift. Die organischen Verbindungen (Lösemittel und Binderbestandteile) reagieren nicht mit der Schwefelsäure, deshalb bleiben diese Stoffe auch in der Abluft, die über den KAMIN2 den Betrieb verläßt, erhalten.

Als Produkt der chemischen Reaktion entstehen gepufferte Aminsulfatlösung (asls<sub>g</sub>) und Kohlendioxid (co<sub>2</sub>).

### 6.3.4 CB-KERNEVERTEILER/CBKV

| Prozeß | Outputstrom   | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|---------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | CB Kernestrom | CB-Kerne   | 89,85% | 0,00% | 1991 2000          |

Prozeß 100:

Die bei der Kernherstellung entstehende Menge an Kernbruch wird über die fiktive Anlage CB-KERNEVERTEILER verteilt. Laut Schätzungen entstehen ca. 10,15% Kernbruch die in den ALTSANDBUNKER gelangen, während die 89,85% guter CB-Kerne im KERNZWISCHENLAGER aufbewahrt werden.

### 6.3.5 HOT-BOX-KERNMACHEREI/HBKM

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                                 |
|--------|---|
| 1      | 134.13sand + 1.48restn + 0.267hmb + 0.043silöl → 135.55hbk + 0.37orgv |

Prozeß 1:

Da auch bei der HBKM (wie bei der CBKM) der Harzeinsatz von der späteren Beanspruchung der Kerne abhängt, kommt es zu einer geringfügigen Abweichung von der Richtzusammensetzung.

tatsächliche  
Zusammensetzung

| Bestandteil       | Gew.-% |
|-------------------|--------|
| Sand              | 98,67  |
| Resital TN 3362   | 1,10   |
| Härter MB         | 0,20   |
| Silikonölemulsion | 0,03   |

Richtzusammensetzung

| Bestandteil       | Gew.-% |
|-------------------|--------|
| Sand              | 98,36  |
| Resital TN 3362   | 1,40   |
| Härter MB         | 0,20   |
| Silikonölemulsion | 0,04   |

Die Faktoren in der Vorschrift beziehen sich auf die eingesetzte Sandmenge von 1 341 300kg. Ein Teil der Lösemittel und Binderbestandteile (orgv) verdampft und verläßt mit der Luft über den KAMIN2 die Anlage. Der Rest der Komponenten findet sich in den Hot-Box-Kernen (hbk) wieder.

### 6.3.6 HB-KERNEVERTEILER/HBKV

| Prozeß | Outputstrom       | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|-------------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | HB Kernbruchstrom | HB-Kerne   | 10,09% | 0,00% | 1991 2000          |

Prozeß 100:

Der Prozentsatz des Kernbruchs – geschätzte 10,09% – wird wiederum über eine fiktiven Kerneverteiler geregelt.

### 6.3.7 PEP-SET-KERNMACHEREI/PSKM

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                              |
|--------|--|
| 1      | 75.43sand + 0.56iso2 + 0.009katw + 0.59ps15 → 76.358psk + 0.23orgv |

Prozeß 1:

Beim Pep-Set-Verfahren wird die Richtzusammensetzung ebenfalls fast erreicht.

tatsächliche  
Zusammensetzung

| Bestandteil         | Gew.-% |
|---------------------|--------|
| Sand                | 98,49  |
| Pepset 1505         | 0,77   |
| Isocure Teil II 602 | 0,73   |
| Katal. 3595 W       | 0,01   |

Als Bezugsgröße wird die Sandmenge (754 300kg) herangezogen. Von der eingesetzten Harzmenge (11 500kg) dampfen ca. 20Gew.-%, entspricht 2300kg organische Verbindung, ab.

### 6.3.8 PS-KERNEVERTEILER/PSKV

| Prozeß | Outputstrom          | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|----------------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | PS-SG Kernbruchstrom | PS-Kerne   | 89,70% | 0,00% | 1991 2000          |

Prozeß 100:

Analog den beiden anderen Kerneverteilern fallen bei den PS-Kernen ca. 10% Kernbruch an.

### 6.3.9 SCHMELZBETRIEB/SB

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift  |
|--------|--|
| 1      | 621.6alu + 0.88cvi + 0.02dn4 + 0.4eba10 + 0.16silif + 476.44kralu + 0.515n2 →<br>1.064e+03alusm + 35.5krä + 0.515n2ver |

Prozeß 1:

Im Schmelzbetrieb werden zugekauft Aluminium (alu), Kreislaufaluminium (kralu) und Chemikalien, in einem bestimmten Verhältnis zueinander, eingesetzt. Die zugehörigen Absolutwerte die, bis auf die Größenordnung ( $10^x$ ), den Faktoren aus der Vorschrift entsprechen, stammen aus Produktionsmeldungen bzw. der Einkaufsabteilung.

Die erzeugte Schmelze wird zu den einzelnen Gießplätzen befördert, während die anfallende Krätze an einen Aufbereitungsbetrieb geliefert wird. Der Spülstickstoff verläßt den Betrieb über die Abluft.

### 6.3.10 SCHMELZEVERTEILER/SCHVE

| Prozeß | Outputstrom      | Inputstoff        | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|------------------|-------------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | DG Schmelzestrom | Aluminiumschmelze | 18,71% | 0,00% | 1991 2000          |
| 101    | KG Schmelzestrom | Aluminiumschmelze | 78,76% | 0,00% | 1991 2000          |
| 102    | SG Schmelzestrom | Aluminiumschmelze | 1,67%  | 0,00% | 1991 2000          |

Prozeß 100:

Die prozentuelle Aufteilung der Schmelze wird über die AUDIT Anlage SCHMELZE-VERTEILER definiert.

### 6.3.11 KERNZWISCHENLAGER/KZL

| Prozeß | Outputstrom   | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|---------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | KG Kernestrom | CB-Kerne   | 98,47% | 0,00% | 1991 2000          |
| 200    | KG Kernestrom | HB-Kerne   | 99,86% | 0,00% | 1991 2000          |

So wie im SCHMELZEVERTILER die Verteilung der Aluminiumschmelze geregelt wird, wird im KZL die Aufteilung der verschiedenen Kerne auf die unterschiedlichen Gießverfahren festgelegt.

**Prozeß 100:**

Der Großteil der CB-Kerne, nämlich 98,47%, werden im Kokillenguß eingesetzt. Die verbleibenden 1,53% gelangen in den Sonderguß.

**Prozeß 200:**

Bei den HB-Kerne ist die Verteilung mit 99,86% zum Kokillenguß und 0,14% zum Niederdruckguß von ähnlicher Größenordnung.

**6.3.12 KOKILLENGIEßEREI/KG**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                                     |
|--------|---|
| 1      | 8.380e+03alusm + 0.575dag + 0.28hyd + 3.41pps → 8.380e+03alu + 4.265isoli |
| 2      | 100.cbk → 0.293orgv + 99.707altkg   |
| 3      | 100.hbk → 0.293orgv + 99.707altkg   |

**Prozeß 1:**

Über die erste Vorschrift wird ein Zusammenhang zwischen der bekannten Schmelzemenge und den Chemikalien (Isolierschichten) festgelegt. Die Isolierschichten verlassen den Prozeß als fiktiver Abfallstrom über die Gußputzerei. Die Aluminiumschmelze geht in festes Aluminium (alu) über, von welchem in weiterer Folge noch Späne und Kreislaufaluminium abgespalten werden.

Die Faktoren ergeben sich aus den Jahresdurchschnittsmengen.

**Prozeß 2 und 3:**

Beim Abgießen werden nochmals geringe Mengen an organischen Verbindungen (orgv) – im Schnitt 0,293% pro Kernart – aus den Kernen freigesetzt. Sie gelangen mit der Abluft zur thermischen Nachverbrennung.

Der entstehende Altsand (altkg) wird entweder entsorgt oder in der thermischen Sandregeneration wiederaufbereitet.

**6.3.13 KG-GUßPUTZEREI /KGGP**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift        |
|--------|--|
| 1      | 100.alu → 3.598spä + 46.536kralu + 49.866pkg |
| 2      | 5.990e+03altkg → 5.990e+03alts + 0.43fs      |

**Prozeß 1:**

Wie schon im vorigen Kapitel erwähnt, werden vom verfestigten Aluminium noch Späne (3,598%) und Kreislaufaluminium (46,536%) abgetrennt. 49,866Gew.-% des vergossenen Aluminiums können dem Produkt zugerechnet werden.

**Prozeß 2:**

0

Außerdem wird beim Gußputzen aus dem Altsand (altkg) noch eine geringe Menge Feinstaub (430kg) freigesetzt, der mit der Luft ausgetragen wird.

**6.3.14 NAßENTSTAUBER/NE**

| Prozeß | Outputstrom   | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|---------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | NE Staubstrom | Wasser     | 0,14%  | 0,00% | 1991 2000          |

Im Naßentstauber wird der Feinstaub fast vollständig von der Abluft abgetrennt (Annahme: zu 100%). Der somit reine Luftstrom verläßt die Werkshalle.

**Prozeß 100:**

Der nun feuchte Staub (0,14% des eingesetzten Wassers befinden sich ebenfalls am Staubstrom) wird getrennt entsorgt. Das verbleibende Abwasser (99,86%) wird in die Kanalisation geleitet.

**6.3.15 ENDKONTROLLE/EK**

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | p3 → pkg                              |

**Prozeß 1:**

In der Endkontrolle werden die Produkte mit einem Korrosionsschutz überzogen. Die verbrauchte Menge des Korrosionsschutzes (p3) wird vollständig auf das Produkt (pkg) aufgetragen und mit diesem aus dem Prozeß ausgetragen.

**6.3.16 ABSAUGUNG/ABS**

Über die ABSAUGUNG werden Luft und organische Verbindungen aus der Kokillengießerei und der zugehörigen Gußputzerei abgezogen und unverändert der thermischen Nachverbrennung zugeführt.

Die Anlage Absaugung ist daher als Umverteiler ohne Prozeßvorschrift ausgelegt.

### 6.3.17 DRUCKGUß/DG

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                              |
|--------|--|
| 1      | 199.07alusm + 21.t7040 + 0.298texal → 20.298tmldg + wa + 199.07alu |

Prozeß 1:

Beim Druckguß wird die Schmelze unter hohem Druck in eine Stahlform gepreßt. Für dieses Verfahren werden keine Sandkerne benötigt.

Vor jedem Abguß wird die mit Wasser verdünnte Trennmittellösung (t7040) auf die Formen gesprüht bzw. wird das Trennmittel (texal) mit Pinseln aufgebracht. Ein Teil des Wassers (wa) aus der Trennmittellösung verdampft beim Abgießen, der Rest (tmldg) wird in einem Becken gesammelt und von einem Unternehmen entsorgt. Die Aluminiumschmelze (alusm) verfestigt sich zu den Gußteilen aus Aluminium (alu)

### 6.3.18 STRAHLANLAGE/STR

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | stk → str                             |
| 2      | 100.alu -> 62.892pdg + 37.108kralu    |

Prozeß 1:

In der STRAHLANLAGE werden die Gußteile zur Oberflächenbehandlung mit Stahlkugeln (stk) – mit Druckluft eingblasen – beschossen. Die aus den Stahlkugeln entstehenden Stahlkugelreste (str) werden über eine fiktive Anlage entsorgt.

Prozeß 2:

Von den Gußteilen müssen noch die Angußstücke abgetrennt werden, welche als Kreislaufaluminium (kralu) in den Schmelzbetrieb zurückgeschickt werden. Ungefähr 63% des abgegossenen Materials werden als Produkt DG (pdg) ins entsprechenden Produktlager überstellt.

### 6.3.19 NIEDERDRUCKGUß/NDG

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift   |
|--------|---|
| 1      | 5.440e+03hbk → 16.6orgv + 5.423e+03alts |
| 2      | alusm → alu                             |

Prozeß 1:

Wie beim Kokillenguß dampfen auch beim Niederdruckguß beim Abgießen noch organische

Bestandteile (ca. 30,4% des Harzes) ab. Sie werden über den Kamin an die Umgebung abgegeben. Der verbleibende Altsand (alts) gelangt in den Altsandbunker.

Prozeß 2 :

Die Aluminiumschmelze verfestigt sich zu Aluminium

### 6.3.20 NDG-GUßPUTZEREI /NDGGP

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift     |
|--------|---|
| 1      | 100.alu → 70.03pndg + 26.37kralu + 3.6spä |

Prozeß 1:

In der Gußputzerei werden 3,6% Späne (spä) und 27,36% Kreislaufaluminium (kralu) abgetrennt. 70,03% gehen als Produkt in den Versand.

### 6.3.21 SONDERGUß/SG

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | alusm → alu                           |
| 2      | 1.000e+03cbk → 3.71orgv + 996.29alts  |
| 3      | 1.000e+03psk → 996.29alts + 3.71orgv  |

Prozeß 1:

Die Aluminiumschmelze verfestigt sich zu Aluminium

Prozeß 2 und 3:

Sowohl aus dem Pep-Set- als auch aus den Cold-Box-Kernen wird wieder ein Teil der organischen Substanzen des Harzes abgedampft.

### 6.3.22 SG-GUßPUTZEREI HAND/SGGPH

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift        |
|--------|--|
| 1      | 100.alu → 39.312psg + 3.436spä + 57.252kralu |

Prozeß 1:

In der Gußputzerei werden 3,436% Späne (spä) und 57,252% Kreislaufaluminium (kralu) abgetrennt. 39,312% gehen als Produkt in den Versand.

### 6.3.23 ALTSANDBUNKER/ASB

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | 100.cbk → 0.94harz + 99.06sanvu       |
| 2      | 100.hbk → 1.05harz + 98.95sanvu       |
| 3      | 100.psk → 1.2harz + 98.8sanvu         |
| 4      | 100.alts → 0.69harz + 99.31sanvu      |

#### Prozeß 1 bis 3:

In den Altsandbunker gelangt der gesamte Kernbruch. Entsprechend der Kernart besitzt er einen bestimmten Harzanteil. Über diese drei Vorschriften wird die Harzmenge des gesamten Kernbruchs berechnet. der verbleibende Sand wird als Sand verunreinigt (sanvu) bezeichnet.

#### Prozeß 4:

Dasselbe gilt für den Altsand, der ebenfalls in seine Komponenten, Harz und Sand verunreinigt (sanvu), zerlegt wird.

### 6.3.24 TNV/TSR/TNVS

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                       |
|--------|---|
| 1      | harz + 0.012luft -> 3.66co2 + 8.39stick                     |
| 2      | orgv + 0.012luft -> 3.66co2 + 8.39stick + 33.908energ       |
| 3      | eg + 0.017luft -> 2.75co2 + 2.25wa + 13.39stick + 50.5energ |
| 4      | 100.sanvu -> 5.fs + 95.sand                                 |

#### Prozeß 1 bis 3:

In der kombinierten Anlage Thermische Nachverbrennung/Thermische Sandregeneration werden die organischen Luftschadstoffe oxidiert (Zusatz von Erdgas ⇒ Freisetzen von Energie), hauptsächlich um die Geruchsbelastung für die Umgebung zu vermindern. Gleichzeitig werden die heißen Reingase dazu verwendet, die Harzreste von den Sandkörnern abzubrennen.

#### Prozeß 4:

Vom Sand selbst werden noch ca. 5% in Feinstaub übergeführt.

## 6.4 Kennzahlen

Tab. 6.4.1 Kennzahlen bezogen auf die Schmelzemenge

| Kennzahl (Stoff)      | Wert     | Einheit        | Bemerkung (Strom)           |
|-----------------------|----------|----------------|-----------------------------|
| Aluminium             | 0,584211 | kg/kg Schmelze | Aluminiummasselstrom        |
| Aluminiumschmelze     | 0,187096 | kg/kg Schmelze | DG Schmelzestrom            |
| Aluminiumschmelze     | 0,787603 | kg/kg Schmelze | KG Schmelzestrom            |
| Aluminiumschmelze     | 0,008590 | kg/kg Schmelze | NDG Schmelzestrom           |
| Aluminiumschmelze     | 0,016711 | kg/kg Schmelze | SG Schmelzestrom            |
| Coverlux              | 0,000827 | kg/kg Schmelze | SB Chemikalienstrom         |
| Dursalit N4           | 0,000019 | kg/kg Schmelze | SB Chemikalienstrom         |
| Eba alu 10            | 0,000376 | kg/kg Schmelze | SB Chemikalienstrom         |
| Krätze                | 0,033365 | kg/kg Schmelze | Krätze Strom                |
| Kreislaufaluminium    | 0,366522 | kg/kg Schmelze | KG Kreislaufaluminiumstrom  |
| Kreislaufaluminium    | 0,002265 | kg/kg Schmelze | NDG Kreislaufaluminiumstrom |
| Kreislaufaluminium    | 0,009567 | kg/kg Schmelze | SG Kreislaufaluminiumstrom  |
| Kreislaufaluminium    | 0,069427 | kg/kg Schmelze | DG Kreislaufaluminiumstrom  |
| Silifin               | 0,000150 | kg/kg Schmelze | SB Chemikalienstrom         |
| Spülstickstoff        | 0,000484 | kg/kg Schmelze | SB Chemikalienstrom         |
| Spülstickstoff verbr. | 0,000484 | kg/kg Schmelze | Spülstickstoffstrom         |

Tab. 6.4.2 Kennzahlen bezogen auf die Sandmenge

| Kennzahl (Stoff)        | Wert     | Einheit           | Bemerkung (Strom)                                 |
|-------------------------|----------|-------------------|---|
| Isocure 355             | 0,005369 | kg/kg Sand CB     | CB Chemikalienstrom                               |
| Isocure 655             | 0,006544 | kg/kg Sand CB     | CB Chemikalienstrom                               |
| Katalysator DI          | 0,000554 | kg/kg Sand CB     | CB Chemikalienstrom                               |
| Härter MB               | 0,001991 | kg/kg Sand HB     | HB Chemikalienstrom                               |
| Resital TN              | 0,011034 | kg/kg Sand HB     | HB Chemikalienstrom                               |
| Silikonöl               | 0,000321 | kg/kg Sand HB     | HB Chemikalienstrom                               |
| Isocure Teil II         | 0,007424 | kg/kg Sand PS     | PS Chemikalienstrom                               |
| Katalysator 3595W       | 0,000113 | kg/kg Sand PS     | PS Chemikalienstrom                               |
| Pep-Set 1505            | 0,007822 | kg/kg Sand PS     | PS Chemikalienstrom                               |
| organische Verbindungen | 0,005252 | kg/kg Sand gesamt | organische Verbindungen<br>in der gesamten Abluft |

## 6.5 Graphische Darstellungen der Bilanzergebnisse

### Zusammensetzung der Aluminiumschmelze

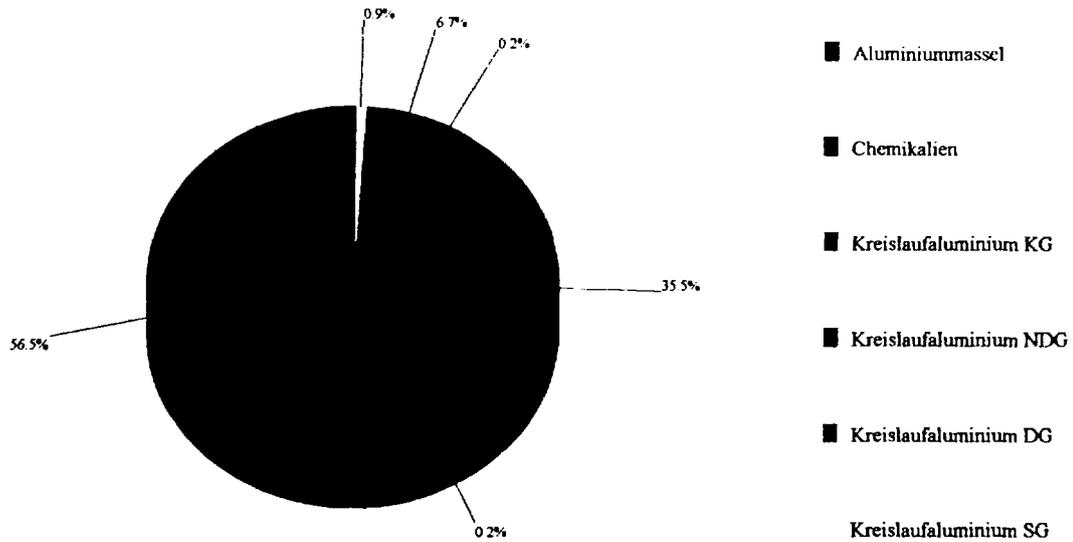


Abb. 6.5.1 Zusammensetzung der Aluminiumschmelze

### Verteilung des Sandes auf die verschiedenen Kernherstellungsverfahren

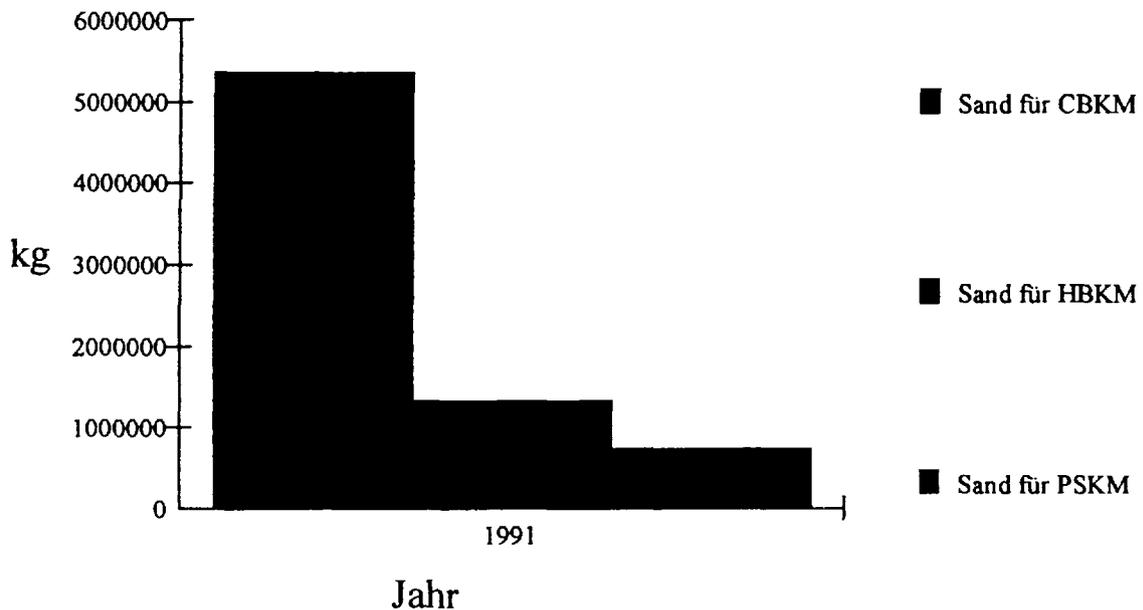


Abb. 6.5.2 Verteilung des Sandes auf die verschiedenen Kernherstellungsverfahren

Durch die TNV/TSR könnte die Luftqualität entscheidend verbessert werden, außerdem könnten bei optimalem Betrieb ca. 95% des Altsandes regeneriert werden. Im nachfolgenden Chart werden die Kosten für den Betrieb mit und ohne TNV/TSR verglichen. Die einzelnen Kosten (z.B. Gas, Sand, Investition usw., ersichtlich in den Kostendialogen der Variante ) wurden angenommen und müssen nicht unbedingt der Realität entsprechen, sie können aber vom Benutzer jederzeit geändert werden.

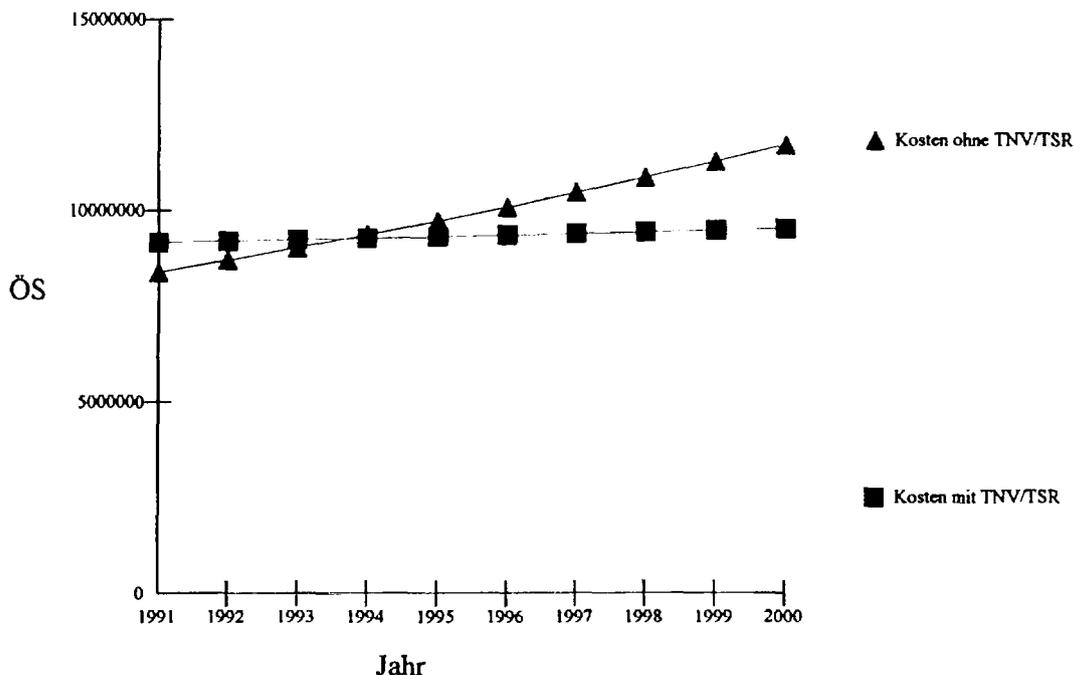


Abb. 6.5.3 Kostenvergleich

### Vergleich des Sandverbrauches

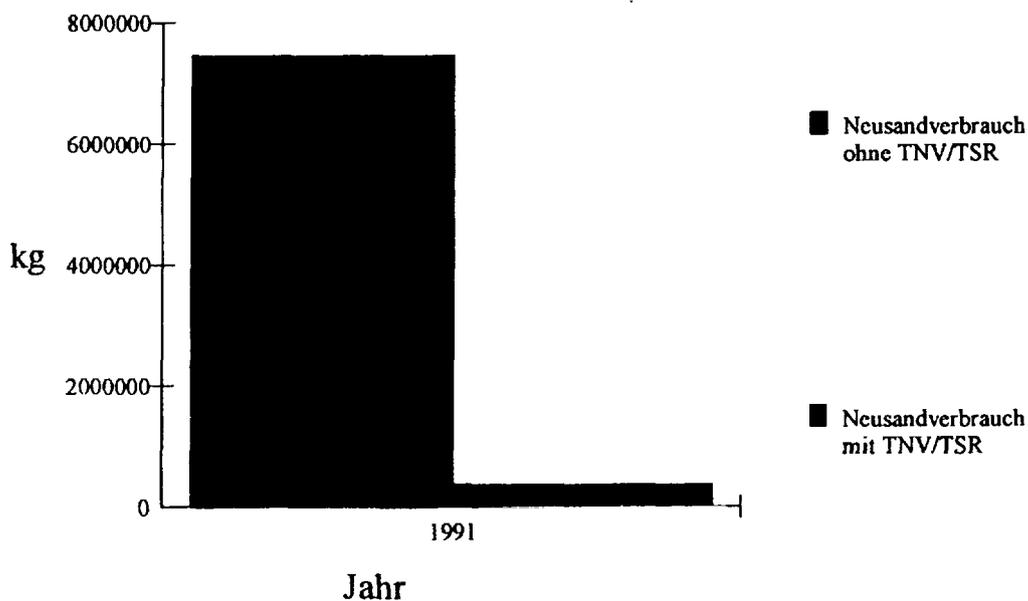


Abb. 6.5.4 Vergleich des Sandverbrauches

## Darstellung einer Leichtmetallgießerei mit AUDIT

---

Das Sankeydiagramm kann aufgrund seiner Größe (A1) nicht mehr im Dokument eingefügt werden, daher wird der originale Sankeyausdruck im Anhang beigefügt.

# 7 ENERGIEFLUß IN EINER EISENGIEßEREI

---

*Variante FE8*

## 7.1 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens

In dieser Variante soll die Energiesituation einer Eisengießerei unter Berücksichtigung aller zugeführten Energien, der Verbraucher sowie der Abfallenergien dargestellt werden.

Die Firma fertigt Motorengehäuse und sonstige im Elektro-, Maschinen- und Apparatebau benötigte Gußhalbfabrikate. Als Eisengußwerkstoffe werden Gußeisen mit Kugelgraphit und Gußeisen mit Lamellengraphit eingesetzt.

Die Kernherstellung erfolgt mittels

- CO<sub>2</sub>-,
- COLD-BOX-,
- CRONINGEN- und
- FURANHARZVERFAHREN.

Zum Einschmelzen kommen zwei **Induktionstiegelöfen** mit einem Fassungsvermögen von je 3t und zwei **Kaltwindkupolöfen** zum Einsatz.

Im Betrieb werden folgende Energiearten bzw. -träger mit ihren jeweiligen Verwendungszwecken eingesetzt.

### **Elektrischer Strom**

Der elektrische Strom wird über eine Freileitung zu 2 Trafostationen geführt, in denen 5 Transformatoren für die Versorgung mit 380V bzw. bis 550V bereit stehen (auch der Bedarf an 220V Strom wird hier gedeckt).

Der elektrische Strom wird für

- mechanische Antriebe
  - Beleuchtung
  - Prozeßwärmeerzeugung
- verwendet

### **Koks**

Koks wird in den beiden Kaltwindkupolöfen eingesetzt.

### **Erdgas**

Das Erdgas findet in der Prozeßwärmeerzeugung und für die Raumbeheizung Verwendung.

### **Schweröl**

Das Schweröl wird ausschließlich zur Raumbeheizung und Warmwasseraufbereitung genutzt.

### **Diesel**

Diesel wird für den Antrieb von Hubstaplern und dem Notstromaggregat benötigt.

### **Holzkohle**

Mit Holzkohle wird ebenfalls Prozeßwärme erzeugt.

□ **Schweißgas**

Um die unterschiedlichen Energieträger miteinander vergleichen zu können, werden alle in kWh/a bilanziert.

*Anmerkung:*

*Obwohl in den Stammdaten – Variantendaten (Tab. 7.2.1) ein Gültigkeitszeitraum von 1994 bis 2004 angegeben ist, beziehen sich die erhobenen Daten und damit der Stand der Technik auf das Jahr 1980.*

## 7.2 Notwendige Eingabedaten

### 7.2.1 Stammdaten – Variantendaten

Tab. 7.2.1 Die wesentlichen Variantendaten

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| Betrachtungszeiteinheit [ZE]:   | Jahr          |
| Bilanzierungszeiteinheit [BZE]: | Jahr          |
| Umrechnungsfaktor [BZE] → [ZE]: | 1             |
| Gültig von:                     | 1994 bis 2004 |

### 7.2.2 Stammdaten – Stoffdaten

Tab. 7.2.2 Stofftabelle

| Nr. | Stoffname           | Kurzname | Stofftyp      | Stoffeinheit |
|-----|---------------------|----------|---------------|--------------|
| 1   | Abluft              | al       | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 2   | Abluft-geregelt     | alg      | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 3   | Abluft-ungeregelt   | alug     | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 4   | Abwasser            | aw       | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 5   | Diesel              | dies     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 6   | elektrische Energie | elen     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 7   | Erdgas              | egas     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 8   | Heizwärme           | hzwä     | Energieträger | Energie/kWh  |
| 9   | Holzkohle           | hoko     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 10  | Koks                | koks     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 11  | Kühlwasser          | kw       | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 12  | Leitungsverlust     | leive    | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 13  | Notstrom            | not      | Energieträger | Energie/kWh  |
| 14  | Nutzenergie         | nutz     | Energieträger | Energie/kWh  |
| 15  | Rauchgas            | rg       | Schadstoff    | Energie/kWh  |
| 16  | Schweißgas          | swg      | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 17  | Schweröl            | s-öl     | Rohstoff      | Energie/kWh  |
| 18  | Trafoverlust        | trave    | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 19  | Transport           | trans    | Energieträger | Energie/kWh  |
| 20  | Umwandlungsverlust  | uwver    | Abfallstoff   | Energie/kWh  |
| 21  | Warmwasser          | ww       | Energieträger | Energie/kWh  |

7.2.3 Das Fließbild

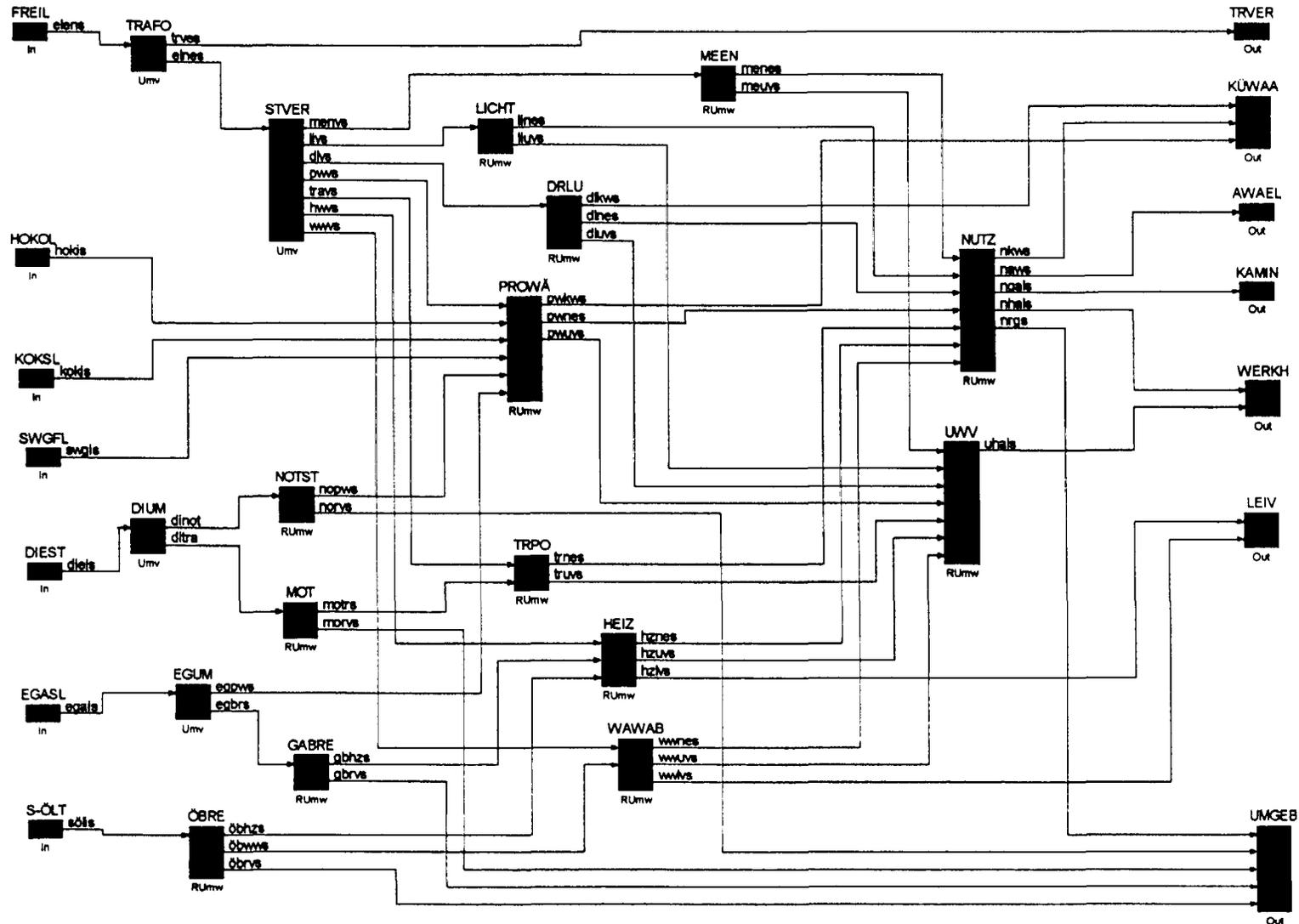


Abb. 7.2.1 Fließbild zur Variante FE8

## 7.2.4 Prozeßdaten

Tab. 7.2.3 Anlagentabelle

| Nr. | Bezeichnung         | Kurzbezeichnung | Prozeßtyp    |
|-----|---------------------|-----------------|--------------|
| 1   | ABWASSEREINLEITUNG  | AWAEL           | Outputanlage |
| 2   | DIESEL-UMVERTEILER  | DIUM            | Umverteiler  |
| 3   | DIESELTANK          | DIEST           | Inputanlage  |
| 4   | DRUCKLUFT           | DRLU            | Umwandler    |
| 5   | ERDGAS-UMVERTEILER  | EGUM            | Umverteiler  |
| 6   | ERDGASLEITUNG       | EGASL           | Inputanlage  |
| 7   | FREILEITUNG         | FREIL           | Inputanlage  |
| 8   | GASBRENNER          | GABRE           | Umwandler    |
| 9   | HEIZUNG             | HEIZ            | Umwandler    |
| 10  | HOLZKOHLELAGER      | HOKOL           | Inputanlage  |
| 11  | ÖLBRENNER           | ÖBRE            | Umwandler    |
| 12  | KÜHLWASSERAUSFLUß   | KÜWAA           | Outputanlage |
| 13  | KAMIN               | KAMIN           | Outputanlage |
| 14  | KOKSLAGER           | KOKSL           | Inputanlage  |
| 15  | LEITUNGSVERLUSTE    | LEIV            | Outputanlage |
| 16  | LICHT               | LICHT           | Umwandler    |
| 17  | MECHANISCHE ENERGIE | MEEN            | Umwandler    |
| 18  | MOTOREN             | MOT             | Umwandler    |
| 19  | NOTSTROMAGGREGAT    | NOTST           | Umwandler    |
| 20  | NUTZENERGIE         | NUTZ            | Umwandler    |
| 21  | PROZEßWÄRME         | PROWÄ           | Umwandler    |
| 22  | SCHWEIßGASFLASCHEN  | SWGFL           | Inputanlage  |
| 23  | SCHWERÖLTANK        | S-ÖLT           | Inputanlage  |
| 24  | STROMVERTEILER      | STVER           | Umverteiler  |
| 25  | TRAFOVERLUST        | TRVER           | Outputanlage |
| 26  | TRANSFORMATOR       | TRAFO           | Umverteiler  |
| 27  | TRANSPORT           | TRPO            | Umwandler    |
| 28  | UMGEBUNG            | UMGEB           | Outputanlage |
| 29  | UMWANDLUNGSVERLUSTE | UWV             | Umwandler    |
| 30  | WARMWASSERBEREITUNG | WAWAB           | Umwandler    |
| 31  | WERKSHALLE          | WERKH           | Outputanlage |

Tab. 7.2.4 Stromtabelle

| Nr. | Bezeichnung                           | Kurzbezeichnung |
|-----|---------------------------------------|-----------------|
| 1   | Diesel-Inputstrom                     | dieis           |
| 2   | Diesel-Notstrom                       | dinot           |
| 3   | Diesel-Transportstrom                 | ditra           |
| 4   | Druckluft Kühlwasserstrom             | dlkws           |
| 5   | Druckluft Nutzenergiestrom            | dlnes           |
| 6   | Druckluft Umwandlungsverluststrom     | dluvs           |
| 7   | Druckluft Verteilerstrom              | dlvs            |
| 8   | elektrische Energiestrom              | elens           |
| 9   | elektrischer Nutzenergiestrom         | elnes           |
| 10  | Erdgas-Brennerstrom                   | egbrs           |
| 11  | Erdgas-Inputstrom                     | egais           |
| 12  | Erdgas-Prozeßwärmestrom               | egpws           |
| 13  | Gasbrenner-Heizungstrom               | gbhzs           |
| 14  | Gasbrenner-Rauchgasverluststrom       | gbrvs           |
| 15  | Heizung Leitungsverluststrom          | hzlvs           |
| 16  | Heizung Nutzenergiestrom              | hznes           |
| 17  | Heizung Umwandlungsverluststrom       | hzuvs           |
| 18  | Heizwärme Verteilerstrom              | hwvs            |
| 19  | Holzkohle-Inputstrom                  | hokis           |
| 20  | Ölbrenner-Heizungsstrom               | öbhzs           |
| 21  | Ölbrenner-Rauchgasverluststrom        | öbrvs           |
| 22  | Ölbrenner-Warmwasserstrom             | öbwws           |
| 23  | Koks-Inputstrom                       | kokis           |
| 24  | Licht Nutzenergiestrom                | lines           |
| 25  | Licht Umwandlungsverluststrom         | liuvs           |
| 26  | Licht Verteilerstrom                  | livs            |
| 27  | mech. Energie Verteilerstrom          | menvs           |
| 28  | mechanischer Nutzenergiestrom         | menes           |
| 29  | mechanischer Umwandlungsverluststrom  | meuvs           |
| 30  | Motor-Rauchgasverluststrom            | morvs           |
| 31  | Motor-Transportstrom                  | motrs           |
| 32  | Notstromaggregat-Prozeßwärmestrom     | nopws           |
| 33  | Notstromaggregat-Rauchgasverluststrom | norvs           |

| <b>Nr.</b> | <b>Bezeichnung</b>                          | <b>Kurzbezeichnung</b> |
|------------|---|------------------------|
| 34         | NUTZ Abwasserstrom                          | naws                   |
| 35         | NUTZ ger. Abluftstrom                       | ngals                  |
| 36         | NUTZ Hallenabluftstrom                      | nhals                  |
| 37         | NUTZ Kühlwasserstrom                        | nkws                   |
| 38         | NUTZ Rauchgasstrom                          | nrgs                   |
| 39         | Prozeßwärme Kühlwasserstrom                 | pwkws                  |
| 40         | Prozeßwärme Nutzenergiestrom                | pwnes                  |
| 41         | Prozeßwärme Umwandlungsverluststrom         | pwuvs                  |
| 42         | Prozeßwärme Verteilerstrom                  | pwvs                   |
| 43         | Schweißgas-Inputstrom                       | swgis                  |
| 44         | Schweröl-Inputstrom                         | söis                   |
| 45         | Transformatorverluststrom                   | trves                  |
| 46         | Transport Nutzenergiestrom                  | trnes                  |
| 47         | Transport Umwandlungsverluststrom           | truvs                  |
| 48         | Transport Verteilerstrom                    | travs                  |
| 49         | UWV Hallenabluftstrom                       | uhals                  |
| 50         | Warmwasser Verteilerstrom                   | wwvs                   |
| 51         | Warmwasserbereitung Leitungsverluststrom    | wwlvs                  |
| 52         | Warmwasserbereitung Nutzenergiestrom        | wwnes                  |
| 53         | Warmwasserbereitung Umwandlungsverluststrom | wwuvs                  |

Tab. 7.2.5 Bilanzergebnisübersicht (berechnet mit einer Toleranz von 0,00001)

| Nr. | Strom                                | Stoff               | 1994      | Einheit | Quelle              | Ziel                |
|-----|--------------------------------------|---------------------|-----------|---------|---------------------|---------------------|
| 1   | Diesel-Inputstrom                    | Diesel              | 103 200   | kWh     | DIESEL-TANK         | DIESEL-UMVERTEILER  |
| 2   | Diesel-Notstrom                      | Diesel              | 1 032     | kWh     | DIESEL-UMVERTEILER  | NOTSTROMAGGREGAT    |
| 3   | Diesel-Transportstrom                | Diesel              | 102 168   | kWh     | DIESEL-UMVERTEILER  | MOTOREN             |
| 4   | Druckluft Kühlwasserstrom            | Kühlwasser          | 622 843   | kWh     | DRUCKLUFT           | KÜHLWASSERAUSFLUß   |
| 5   | Druckluft Nutzenergiestrom           | Nutzenergie         | 35 796    | kWh     | DRUCKLUFT           | NUTZENERGIE         |
| 6   | Druckluft Umwandlungsverluststrom    | Umwandlungsverlust  | 57 273    | kWh     | DRUCKLUFT           | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 7   | Druckluft Verteilerstrom             | elektrische Energie | 715 911   | kWh     | STROMVERTEILER      | DRUCKLUFT           |
| 8   | elektrische Energiestrom             | elektrische Energie | 8 281 620 | kWh     | FREILEITUNG         | TRANSFORMATOR       |
| 9   | elektrischer Nutzenergiestrom        | elektrische Energie | 8 032 013 | kWh     | TRANSFORMATOR       | STROMVERTEILER      |
| 10  | Erdgas-Brennerstrom                  | Erdgas              | 555 129   | kWh     | ERDGAS-UMVERTEILER  | GASBRENNER          |
| 11  | Erdgas-Inputstrom                    | Erdgas              | 1 850 432 | kWh     | ERDGASLEITUNG       | ERDGAS-UMVERTEILER  |
| 12  | Erdgas-Prozeßwärmestrom              | Erdgas              | 1 295 303 | kWh     | ERDGAS-UMVERTEILER  | PROZEßWÄRME         |
| 13  | Gasbrenner-Heizungstrom              | Heizwärme           | 444 103   | kWh     | GASBRENNER          | HEIZUNG             |
| 14  | Gasbrenner-Rauchgasverluststrom      | Rauchgas            | 111 026   | kWh     | GASBRENNER          | UMGEBUNG            |
| 15  | Heizung Leitungsverluststrom         | Leitungsverlust     | 108 060   | kWh     | HEIZUNG             | LEITUNGSVERLUSTE    |
| 16  | Heizung Nutzenergiestrom             | Nutzenergie         | 2 156 103 | kWh     | HEIZUNG             | NUTZENERGIE         |
| 17  | Heizung Umwandlungsverluststrom      | Umwandlungsverlust  | 590       | kWh     | HEIZUNG             | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 18  | Heizwärme Verteilerstrom             | elektrische Energie | 19 650    | kWh     | STROMVERTEILER      | HEIZUNG             |
| 19  | Holzkohle-Inputstrom                 | Holzkohle           | 20 800    | kWh     | HOLZKOHLELAGER      | PROZEßWÄRME         |
| 20  | Koks-Inputstrom                      | Koks                | 4 517 560 | kWh     | KOKSLAGER           | PROZEßWÄRME         |
| 21  | Licht Nutzenergiestrom               | Nutzenergie         | 8 319     | kWh     | LICHT               | NUTZENERGIE         |
| 22  | Licht Umwandlungsverluststrom        | Umwandlungsverlust  | 158 069   | kWh     | LICHT               | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 23  | Licht Verteilerstrom                 | elektrische Energie | 166 388   | kWh     | STROMVERTEILER      | LICHT               |
| 24  | mech. Energie Verteilerstrom         | elektrische Energie | 2 183 246 | kWh     | STROMVERTEILER      | MECHANISCHE ENERGIE |
| 25  | mechanischer Nutzenergiestrom        | Nutzenergie         | 1 746 815 | kWh     | MECHANISCHE ENERGIE | NUTZENERGIE         |
| 26  | mechanischer Umwandlungsverluststrom | Umwandlungsverlust  | 436 431   | kWh     | MECHANISCHE ENERGIE | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 27  | Motor-Rauchgasverluststrom           | Rauchgas            | 71 518    | kWh     | MOTOREN             | UMGEBUNG            |
| 28  | Motor-Transportstrom                 | Transport           | 30 650    | kWh     | MOTOREN             | TRANSPORT           |

| Nr. | Strom                                       | Stoff               | 1994      | Einheit | Quelle              | Ziel                |
|-----|---|---------------------|-----------|---------|---------------------|---------------------|
| 29  | Notstromaggregat-Prozeßwärmestrom           | Notstrom            | 310       | kWh     | NOTSTROMAGGREGAT    | PROZEßWÄRME         |
| 30  | Notstromaggregat-Rauchgasverluststrom       | Rauchgas            | 722       | kWh     | NOTSTROMAGGREGAT    | UMGEBUNG            |
| 31  | NUTZ Abwasserstrom                          | Abwasser            | 50 820    | kWh     | NUTZENERGIE         | ABWASSEREINLEITUNG  |
| 32  | NUTZ ger. Abluftstrom                       | Abluft-geregelt     | 6 607 047 | kWh     | NUTZENERGIE         | KAMIN               |
| 33  | NUTZ Hallenablftstrom                       | Abluft-ungeregelt   | 2 337 746 | kWh     | NUTZENERGIE         | WERKSHALLE          |
| 34  | NUTZ Kühlwasserstrom                        | Kühlwasser          | 126 899   | kWh     | NUTZENERGIE         | KÜHLWASSERAUSFLUß   |
| 35  | NUTZ Rauchgasstrom                          | Rauchgas            | 2 420 778 | kWh     | NUTZENERGIE         | UMGEBUNG            |
| 36  | Ölbrenner-Heizungsstrom                     | Heizwärme           | 1 801 000 | kWh     | ÖLBRENNER           | HEIZUNG             |
| 37  | Ölbrenner-Rauchgasverluststrom              | Rauchgas            | 888 623   | kWh     | ÖLBRENNER           | UMGEBUNG            |
| 38  | Ölbrenner-Warmwasserstrom                   | Warmwasser          | 272 465   | kWh     | ÖLBRENNER           | WARMWASSERBEREITUNG |
| 39  | Prozeßwärme Kühlwasserstrom                 | Kühlwasser          | 1 302 996 | kWh     | PROZEßWÄRME         | KÜHLWASSERAUSFLUß   |
| 40  | Prozeßwärme Nutzenergiestrom                | Nutzenergie         | 7 284 042 | kWh     | PROZEßWÄRME         | NUTZENERGIE         |
| 41  | Prozeßwärme Umwandlungsverluststrom         | Umwandlungsverlust  | 2 177 864 | kWh     | PROZEßWÄRME         | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 42  | Prozeßwärme Verteilerstrom                  | elektrische Energie | 4 918 858 | kWh     | STROMVERTEILER      | PROZEßWÄRME         |
| 43  | Schweißgas-Inputstrom                       | Schweißgas          | 12 381    | kWh     | SCHWEIßGASFLASCHEN  | PROZEßWÄRME         |
| 44  | Schweröl-Inputstrom                         | Schweröl            | 2 962 088 | kWh     | SCHWERÖLTANK        | ÖLBRENNER           |
| 45  | Transformatorverluststrom                   | elektrische Energie | 249 607   | kWh     | TRANSFORMATOR       | TRAFOVERLUST        |
| 46  | Transport Nutzenergiestrom                  | Nutzenergie         | 39 690    | kWh     | TRANSPORT           | NUTZENERGIE         |
| 47  | Transport Umwandlungsverluststrom           | Umwandlungsverlust  | 2 260     | kWh     | TRANSPORT           | UMWANDLUNGSVERLUSTE |
| 48  | Transport Verteilerstrom                    | elektrische Energie | 11 300    | kWh     | STROMVERTEILER      | TRANSPORT           |
| 49  | UWV Hallenablftstrom                        | Abluft-ungeregelt   | 2 832 986 | kWh     | UMWANDLUNGSVERLUSTE | WERKSHALLE          |
| 50  | Warmwasser Verteilerstrom                   | elektrische Energie | 16 660    | kWh     | STROMVERTEILER      | WARMWASSERBEREITUNG |
| 51  | Warmwasserbereitung Leitungsverluststrom    | Leitungsverlust     | 16 348    | kWh     | WARMWASSERBEREITUNG | LEITUNGSVERLUSTE    |
| 52  | Warmwasserbereitung Nutzenergiestrom        | Nutzenergie         | 272 277   | kWh     | WARMWASSERBEREITUNG | NUTZENERGIE         |
| 53  | Warmwasserbereitung Umwandlungsverluststrom | Umwandlungsverlust  | 500       | kWh     | WARMWASSERBEREITUNG | UMWANDLUNGSVERLUSTE |

Die als bekannt eingegebenen Werte sind wiederum fett und kursiv geschrieben. Durch den Aufbau der Prozeßvorschriften (des Gleichungssystems) kann die gesamte Variante durch die Vorgabe eines einzigen Wertes bilanziert werden.

## 7.3 Prozeßvorschriften

### 7.3.1 TRANSFORMATOR/TRAFO

| Prozeß | Outputstrom                   | Inputstoff          | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|-------------------------------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | elektrischer Nutzenergiestrom | elektrische Energie | 96,99% | 0,00% | 1994 2004          |

Prozeß 100:

In den Transformatoren gehen etwas mehr als 3% der elektrischen Energie verloren. Die verbleibenden 96,99% werden zum STROMVERTEILER weitergeleitet.

### 7.3.2 STROMVERTEILER/STVER

| Prozeß | Outputstrom                | Inputstoff          | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|----------------------------|---------------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | Druckluft Verteilerstrom   | elektrische Energie | 8,91%  | 0,00% | 1994 2004          |
| 101    | Heizwärme Verteilerstrom   | elektrische Energie | 0,24%  | 0,00% | 1994 2004          |
| 102    | Licht Verteilerstrom       | elektrische Energie | 2,07%  | 0,00% | 1994 2004          |
| 103    | Prozeßwärme Verteilerstrom | elektrische Energie | 61,24% | 0,00% | 1994 2004          |
| 104    | Transport Verteilerstrom   | elektrische Energie | 0,14%  | 0,00% | 1994 2004          |

Prozeß 100 bis 104:

In der Anlage STROMVERTEILER wird die elektrische Energie, entsprechend der, in den Vorschriften angegebenen Faktoren, auf die einzelnen Abteilungen bzw. Maschinen aufgeteilt. Die verbleibenden 27,39% die nicht in den Vorschriften vergeben werden, verteilen sich aufgrund des Gesamtgleichungssystem auf die Warmwasserbereitung und die Erzeugung von mechanischer Energie.

### 7.3.3 DIESEL-UMVERTEILER/DIUM

Die Anlage DIESEL-UMVERTEILER ist ein AUDIT Umverteiler ohne Verteilungsvorschrift. Die Verteilung des Stoffes Diesel erfolgt auch hier aufgrund der restliche Gleichungen im System.

### 7.3.4 ERDGAS-UMVERTEILER/EGUM

| Prozeß | Outputstrom             | Inputstoff | Faktor | Index | Gültigkeitsbereich |
|--------|-------------------------|------------|--------|-------|--------------------|
| 100    | Erdgas-Prozeßwärmestrom | Erdgas     | 70,00% | 0,00% | 1994 2004          |

Prozeß 100:

70% des Erdgases werden zur Prozeßwärmegewinnung (Vorwärmen des Gießgeschirrs, Warmhalten der Behandlungstrommel) genutzt. Die restlichen 30% werden in der Anlage GASBRENNER zu Heizungswärme umgewandelt (verlustbehafteter Vorgang).

### 7.3.5 ÖLBRENNER/ÖBRE

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | s-öl → 0.608hzwä + 0.092ww + 0.3rg    |

Prozeß 1:

Das Schweröl wird ausschließlich zur Warmwasserbereitung und zur Raumbeheizung verwendet. In der ersten Umwandlungsstufe (ÖLBRENNER) werden 60,8% zur Anlage HEIZUNG und 9,2% zur Anlage WARMWASSERBEREITUNG geleitet. 30% gehen mit dem Rauchgas verloren.

### 7.3.6 GASBRENNER/GABRE

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | egas → 0.2rg + 0.8hzwä                |

Prozeß 1:

Für den Gasbrenner wird ein Wirkungsgrad von 80% angenommen, d.h. 20% des Energieinputs gehen mit dem Rauchgas verloren.

### 7.3.7 NOTSTROMAGGREGAT/NOTST

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | 1.032dies → 0.31not + 0.722rg         |

Prozeß 1:

Im Notstromaggregat wird ca. 1% des gesamten Diesels eingesetzt - das entspricht ca. 1032kWh. Bei einem Wirkungsgrad des Notstromaggregates von nur etwa 30% gehen somit 722 der eingesetzten 1032kWh mit dem Rauchgas verloren. Die restliche 310 kWh werden der Prozeßwärme zugerechnet.

### 7.3.8 MOTOREN/MOT

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | dies → 0.3trans + 0.7rg               |

Prozeß 1:

Die Anlage MOTOREN steht stellvertretend für die drei dieselbetriebenen Gabelstapler. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 30% für Dieselmotoren kommt es wieder zu einem Leistungsverlust von 70% (in Form von Rauchgasverlusten). Die 30% gehen als Stoff Transport (trans) in die AUDIT-Anlage Transport.

### 7.3.9 MECHANISCHE ENERGIE/MEEN

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | elen → 0.8nutz + 0.2uwver             |

Prozeß 1:

Bei der Gewinnung von mechanischer- aus elektrischer Energie gehen 20% bei der Umwandlung verloren, während 80% zu Nutzenergie (mechanisch) umgesetzt werden können.

### 7.3.10 LICHT/LICHT

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | elen → 0.05nutz + 0.95uwver           |

Prozeß 1:

Von der installierten Leistung werden nur 5% in nutzbare Energie (sichtbares Licht) umgeformt, der Rest wird als Wärme an die Umgebung abgegeben.

### 7.3.11 DRUCKLUFT/DRLU

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | elen → 0.87kw + 0.05nutz + 0.08uwver  |

Prozeß 1:

Bei der Druckluftgewinnung in der Kompressorstation werden 5% in Nutzenergie (Temperaturerhöhung der Druckluft) umgesetzt. 87% der Inputenergie stecken im Kühlwasser (ebenfalls Temperaturerhöhung) und 8% gehen bei der Umwandlung verloren (Motorverluste, Abstrahlung).

### 7.3.12 TRANSPORT/TRPO

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift          |
|--------|--|
| 1      | 3.065trans + 1.13elen → 3.969nutz + 0.226uwver |

Prozeß 1:

In die fiktive Anlage TRANSPORT gelangen der Energiestrom Transport aus den dieselbetriebenen Motoren (30650kWh) und elektrische Energie (11300kWh). Die elektrische Energie wird für den Betrieb von 3 Elektrogabelstaplern mit einem Wirkungsgrad von 80% genutzt (⇒ 2260kWh Umwandlungsverluste). Der Stoff Transport (trans) aus den Dieselmotoren ist schon zu 100% Nutzenergie (nutz).

### 7.3.13 HEIZUNG/HEIZ

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                          |
|--------|--|
| 1      | 224.51hzwä + 1.965elen → 10.806leive + 215.61nutz + 0.059uwver |

Prozeß 1:

Die zugeführten 19650kWh elektrischer Energie werden in der Anlage Heizung zu 97% in Nutzenergie (nutz) umgesetzt (→ 590kWh oder 3% Umwandlungsverlust). Von der schon im Gasbrenner und Ölbrenner erzeugten Heizwärme (hzwä) gehen etwa 5% d.h. 108060kWh in den Leitungen verloren, der Rest wird als Nutzenergie (nutz) gewertet.

### 7.3.14 WARMWASSERBEREITUNG/WAWAB

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                      |
|--------|--|
| 1      | 1.666elen + 27.247ww → 1.635leive + 27.228nutz + 0.05uwver |

Prozeß 1:

In die Anlage Warmwasserbereitung gelangen elektrische Energie und Warmwasser (ww) aus dem Ölbrenner. Die Umwandlungsverluste der elektrischen Energie (16660kWh) betragen wie bei der Heizung 3% (entspricht in etwa 500kWh). Der Leitungsverlust des Warmwassers beträgt 6% oder 16350kWh. 94% des Warmwassers werden als Nutzenergie weitergeführt.

### 7.3.15 UMWANDLUNGSVERLUSTE/UWV

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | uwver → alug                          |

Prozeß 1:

In der fiktiven Anlage Umwandlungsverluste wird der Stoff Umwandlungsverlust vollständig in den Stoff Abluft-ungeregelt übergeführt. Der Stoff Abluft-ungeregelt (Energie) geht in der Werkshalle verloren.

### 7.3.16 PROZEßWÄRME/PROWÄ

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift  |
|--------|--|
| 1      | 491.886elen + 2.08hoko + 451.756koks + 129.53egas + 1.238swg + 0.031not → 728.404nutz + 130.3kw + 217.786uwver |

Prozeß 1:

Über diese Vorschrift wird die exakte Zusammensetzung aller als Prozeßenergie geltender Energiearten definiert. Die Faktoren leiten sich aus den in der Energieanalyse ermittelten absoluten Werten ab. Diese Energien werden zu Nutzenergie, Umwandlungsverlust und Kühlwasser (d.h. Energieinhalt des Kühlwasser) umgewandelt. (Die Vorschrift könnte aber ebenso mit prozentuellen Werten aufgestellt werden.)

### 7.3.17 NUTZENERGIE/NUTZ

| Prozeß | Resultierende Verarbeitungsvorschrift                                  |
|--------|--|
| 1      | 1.154e+03nutz → 5.082aw + 12.69kw + 660.71alg + 233.776alug + 242.08rg |

Prozeß 1:

Die gesamte Nutzenergie verteilt sich entsprechend Prozeß1 auf die Outputströme bzw. Stoffe. Auch hier könnten statt der ermittelten Absolutwerte Prozentwerte eingesetzt werden

## 7.4 Kennzahlen

Tab. 7.4.1 Inputenergiemengen bezogen auf die Menge guter Guß (3840t)

| Kennzahl               | Wert       | Einheit         |
|------------------------|------------|-----------------|
| elektrische Energie    | 2 156,6719 | kWh/t Guter Guß |
| Erdgas                 | 481,8833   | kWh/t Guter Guß |
| Diesel                 | 26,8750    | kWh/t Guter Guß |
| Koks                   | 1 176,4479 | kWh/t Guter Guß |
| Schweißgas             | 3,2242     | kWh/t Guter Guß |
| Schweröl               | 771,3770   | kWh/t Guter Guß |
| Holzkohle              | 5,4167     | kWh/t Guter Guß |
| Gesamtenergieverbrauch | 4 621,8960 | kWh/t Guter Guß |

Tab. 7.4.2 Heizwerte der Inputstoffe

| Brennstoff | Heizwert | Einheit             |
|------------|----------|---------------------|
| Erdgas     | 10,3056  | kWh/Nm <sup>3</sup> |
| Diesel     | 11,9167  | kWh/kg              |
| Koks       | 7,9445   | kWh/kg              |
| Schweißgas | 13,4000  | kWh/kg              |
| Schweröl   | 11,3612  | kWh/kg              |
| Holzkohle  | 4,4440   | kWh/kg              |

## 7.5 Graphische Darstellung der Bilanzergebnisse

Tab. 7.5.1 Aufteilung der Energieträger

| <b>Strom</b>             | <b>Stoff</b>                  | <b>1994</b>       | <b>Einheit</b> |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|
| elektrische Energiestrom | elektrische Energie           | 8 281 620         | kWh            |
| Erdgas-Inputstrom        | Erdgas                        | 1 850 432         | kWh            |
| Diesel-Inputstrom        | Diesel                        | 103 200           | kWh            |
| Koks-Inputstrom          | Koks                          | 4 517 560         | kWh            |
| Schweißgas-Inputstrom    | Schweißgas                    | 12 381            | kWh            |
| Schweröl-Inputstrom      | Schweröl                      | 2 962 088         | kWh            |
| Holzkohle-Inputstrom     | Holzkohle                     | 20 800            | kWh            |
|                          | <b>Gesamtenergieverbrauch</b> | <b>17 748 081</b> | <b>kWh</b>     |

### Energieträgervergleich

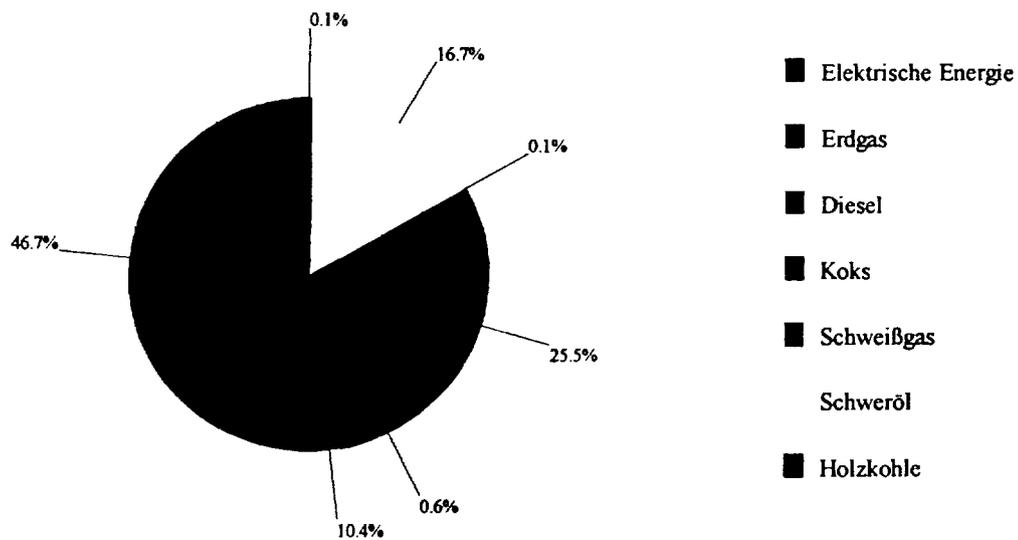


Abb. 7.5.1 Energieträgervergleich

Tab. 7.5.2 Energiekosten

| <b>Strom</b>             | <b>Stoff</b>        | <b>1994</b>  | <b>Einheit</b> |
|--------------------------|---------------------|--------------|----------------|
| elektrische Energiestrom | elektrische Energie | 9 681 213,80 | ÖS             |
| Erdgas-Inputstrom        | Erdgas              | 1 025 139,30 | ÖS             |
| Diesel-Inputstrom        | Diesel              | 78 638,40    | ÖS             |
| Koks-Inputstrom          | Koks                | 1 825 094,20 | ÖS             |
| Schweißgas-Inputstrom    | Schweißgas          | 38 071,60    | ÖS             |
| Schweröl-Inputstrom      | Schweröl            | 861 967,50   | ÖS             |
| Holzkohle-Inputstrom     | Holzkohle           | 29 972,80    | ÖS             |

## Energiekostenvergleich

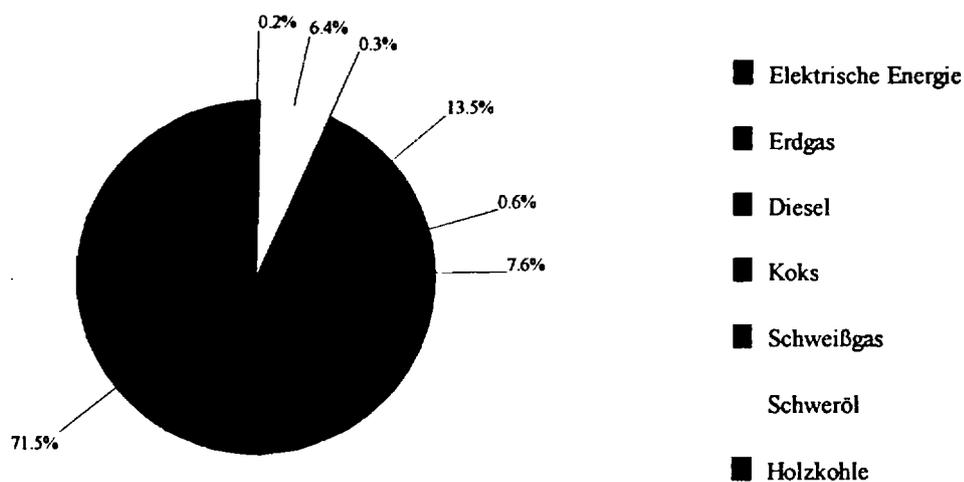


Abb. 7.5.2 Energiekostenvergleich

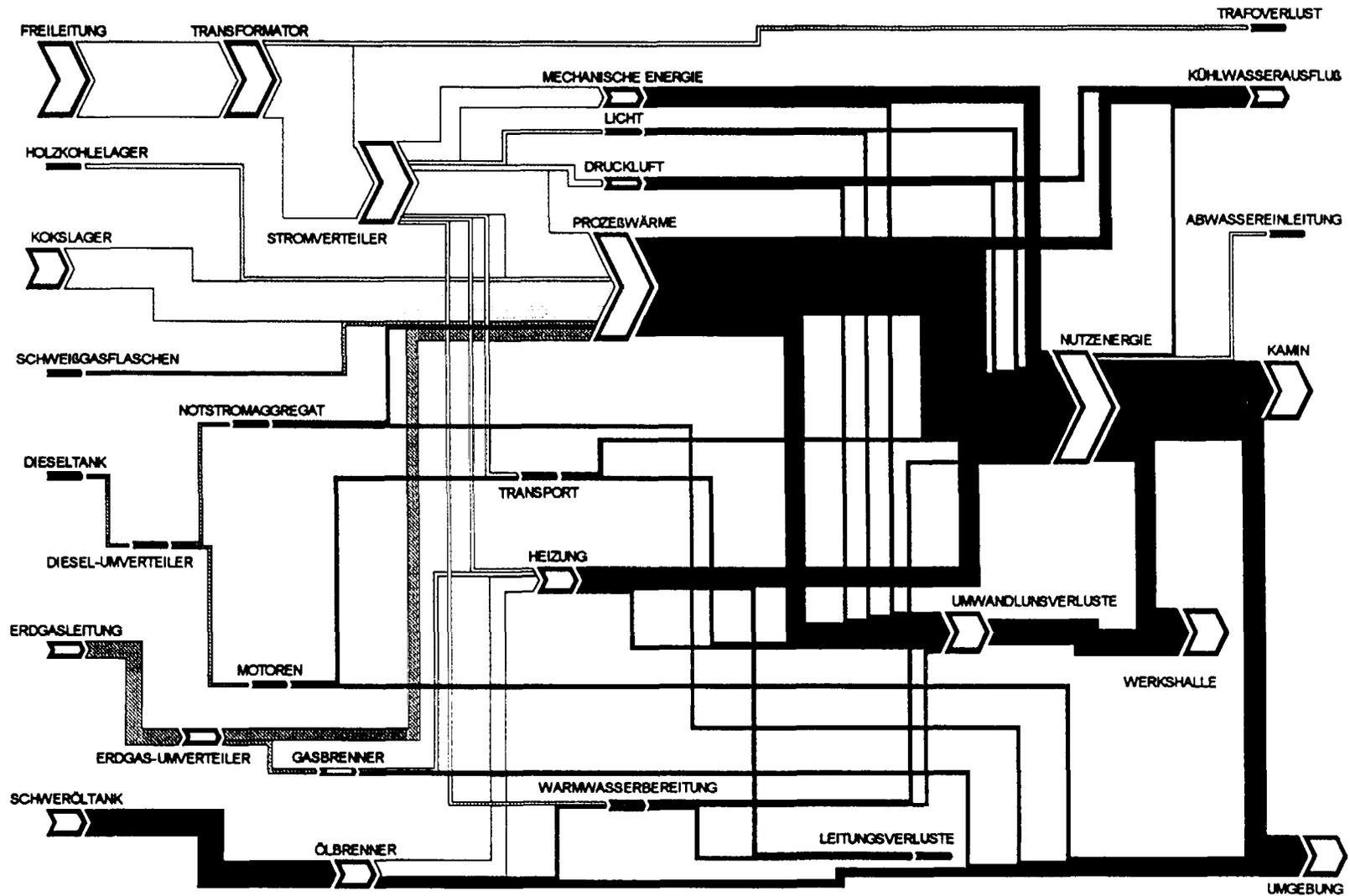


Abb. 7.5.3 Sankeydarstellung der Variante FE8

## 8 ANHANG

---

