

## 2 Ermittlung des Lastprofils und des zentralen Lastschwerpunkts

Basis einer energieeffizienten Anlage ist die Versorgung elektrischer Betriebsmittel über möglichst kurze Zuleitungen. Um den optimalen Aufstellungsort der zentralen Versorgung und Verteilung der elektrischen Energie in einem Gebäude bestimmen zu können, müssen alle Verbraucher mit ihren Anschlussleistungen und ihrem jährlichen Verbrauch einschließlich ihrem Aufstellungsort im Gebäude bekannt sein. Diese Daten sind dann Grundlage für die Ermittlung des Lastschwerpunkts innerhalb eines Gebäudes.

### 2.1 Lastprofil

Als Grundlage für die Ermittlung des Lastschwerpunkts müssen zuerst die Verbraucher, die in einer elektrischen Anlage errichtet werden oder vom Betreiber angeschlossen werden können, erfasst werden. Welche Verbraucher erfasst werden, hängt von der Anschlussleistung ab. In manchen Fällen können auch elektrische Verbraucher mit einer geringen Anschlussleistung von Bedeutung sein, wenn sie z. B. in hoher Anzahl eingesetzt werden und somit ihre Gesamtanschlussleistung signifikant wird. Wer es etwas genauer haben will, kann statt der Anschlussleistung auch die benötigte Leistung einsetzen. Manchmal muss aufgrund von Typensprüngen bei der Auswahl von Motoren eine höhere Nennleistung angeschlossen werden, als benötigt wird.

Für die Erfassung der Verbraucher mit ihrem jährlichen Verbrauch und deren Koordinaten innerhalb der elektrischen Anlage ist eine systematische Methode erforderlich.

**Tabelle 2.1** zeigt eine Möglichkeit der Katalogisierung.

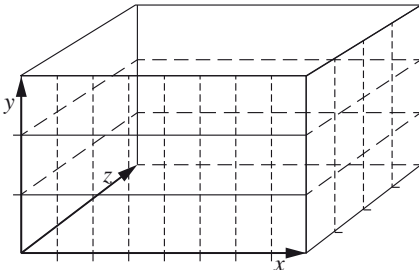
Die Tabelle 2.1 enthält Daten wie Anschlussleistung, Betriebsdauer und Einbaukoordinaten. Zusätzlich ist auch die abgeschätzte jährlich benötigte Energie einzutragen. Damit stehen alle erforderlichen Daten für die Ermittlung des Lastschwerpunkts zur Verfügung.

Verbraucher	Anschlussleistung in kVA	Betriebsdauer in h/a	Jährlicher Verbrauch in kWh	Koordinaten des Einbauorts oder der Anschlussstelle in m
1. Verbraucher	... kVA	... h	... kWh	$x_1$ : ... m $y_1$ : ... m $z_1$ : ... m
2. Verbraucher	... kVA	... h	... kWh	$x_2$ : ... m $y_2$ : ... m $z_2$ : ... m

**Tabelle 2.1** Katalogisierung der Verbraucher in einer elektrischen Anlage

## 2.2 Koordinatensystem

Damit die Verbraucher auch einem bestimmten Ort zugeordnet werden können, muss zuerst das Gebäude oder Gelände in Koordinaten aufgeteilt werden, siehe **Bild 2.1**. Die Achsen werden bei einer 2-D-Betrachtung (alle Kabel und Leitungen werden auf einer horizontalen Ebene verlegt) mit den Koordinaten  $x$  und  $y$  gekennzeichnet und bei einer 3-D-Betrachtung (Kabel und Leitungen werden in einer horizontalen Ebene und in Etagen, z. B. über mehrere Stockwerke verlegt) zusätzlich mit der Koordinate  $z$  gekennzeichnet.



**Bild 2.1** Beispiel eines Koordinatensystems für ein Gebäude

## 2.3 Koordinatenkennzeichnung der Verbraucher

Die Koordinaten für die Verbraucher werden mit einer fortlaufenden Nummer als tiefgestellte Zahl beginnend mit 1 gekennzeichnet. Die Koordinaten des ersten Verbrauchers lauten dann  $x_1, y_1, z_1$  und die des zweiten Verbrauchers  $x_2, y_2, z_2$ . Bei zweidimensionalen Verkabelungen entfällt die  $z$ -Koordinate, siehe **Tabelle 2.2**.

	Koordinatenkennzeichnung bei 3-D-Verkabelung	Koordinatenkennzeichnung bei 2-D-Verkabelung
Lastschwerpunkt	$x_b, y_b, z_b$	$x_b, y_b$
1. Verbraucher	$x_1, y_1, z_1$	$x_1, y_1$
2. Verbraucher	$x_2, y_2, z_2$	$x_2, y_2$
$n$ . Verbraucher	$x_n, y_n, z_n$	$x_n, y_n$

**Tabelle 2.2** Koordinatenbezeichnungen für die Lastschwerpunktermittlung

## 2.4 Koordinatenkennzeichnung des Lastschwerpunkts

Die Koordinaten für den Lastschwerpunkt werden mit dem tiefgestellten Kennbuchstaben  $b$  im Index gekennzeichnet ( $x_b, y_b$  und  $z_b$ ).

## 2.5 Lastschwerpunkt

Ein Element der Energieeffizienz einer elektrischen Anlage ist das Konzept der kurzen elektrischen Verbindungen durch die Ermittlung des Lastschwerpunkts. Erfolgt der Aufstellungsort der Transformatorstation und die Verteilung an diesem Ort, sind die Zuleitungen zu den einzelnen Verbrauchern kürzer, die Leitungsverluste sind geringer und damit ist auch der Spannungsfall niedriger. Durch diese Maßnahme verbessert sich nicht nur die Energieeffizienz während des Betriebs, sondern auch das Investment wird reduziert, da weniger Leitungen geringere Kosten verursachen.

Zusammenfassung der Vorteile:

- geringere Leitungsverluste,
- geringerer Spannungsfall,
- weniger Kabel/Leitungen.

Sind die Koordinaten der Verbraucher bekannt, können die Anordnung und der Aufstellungsort des Transformators und der Hauptverteilung oder Unterverteilung berechnet und festgelegt werden. Normalerweise ist die effektivste Anordnung von Transformatoren und Hauptverteilungen erreicht, wenn die Verbraucher mit der höchsten Leistung möglichst in der Nähe von Transformator und Hauptverteilung aufgestellt werden. Werden weitere Verbraucher berücksichtigt, wird der Standort immer konkreter.

Ob der ermittelte Lastschwerpunkt im Gebäude tatsächlich der Aufstellungsort für den Transformator und der Verteilung werden kann, hängt neben dem ermittelten Lastschwerpunkt noch von weiteren Faktoren ab. So bestimmt z. B. die Höhe der Etage eines Gebäudes die Aufstellungshöhe (y-Koordinate). Auch müssen die Räumlichkeiten dafür geeignet sein und die Statik muss berücksichtigt werden. So ist die Ermittlung des zentralen Lastschwerpunkts erst einmal eine Vorgabe, die mit anderen Parametern abgeglichen werden muss.

Der große Vorteil dieser Methode sind die kurzen Kabel-/Leitungsverbindungen zu den elektrischen Betriebsmitteln. Doch die tatsächliche Kabellänge ist nicht nur vom Standort der Verteilung abhängig, sondern auch von den Kabeltrassen, auf denen die Kabel verlegt werden. Die möglichen Kabeltrassen selbst sind abhängig von der Konstruktion des Gebäudes, vom Brandschutz von und anderen architektonischen Vorgaben, z. B. der Nutzung der Räume durch die eine Kabeltrasse eigentlich optimal wäre.

Statt einzelner Verbraucher können auch Gebäude als Verbraucherzentrum zusammengefasst werden, z. B. Lager, Büros oder Anordnungen von Produktionsmaschinen die koordiniert zusammenarbeiten und die dann über eine Unterverteilung versorgt werden.

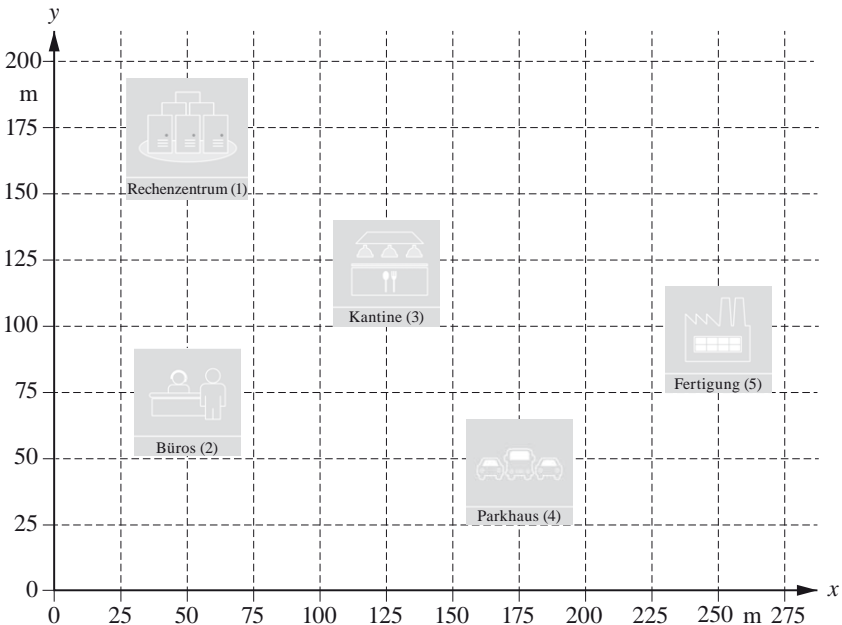
### 2.5.1 Beispiel einer Lastschwerpunktberechnung für eine Fabrik

Für die Ermittlung des Lastschwerpunkts, z. B. auf einem Fabrikgelände, kann das in DIN VDE 0100-801 dargestellte Matrixverfahren angewandt werden (informativer Anhang A). Dabei wird jedes Verbraucherzentrum bzw. jede Anlage mit nennenswertem Energiebedarf in einem zweidimensionalen Koordinatensystem mit ihrem Abstand zu den anderen Verbraucherzentren/Anlagen ermittelt und die Position festgelegt.

Für das Rechenbeispiel werden folgende Gebäude (Verbraucherzentren) auf dem Fabrikgelände betrachtet, siehe **Bild 2.2**:

- Rechenzentrum (Koordinatenkennziffer 1),
- Büros (Koordinatenkennziffer 2),
- Kantine (Koordinatenkennziffer 3),

- Parkhaus (Koordinatenkennziffer 4),
- Fertigung (Koordinatenkennziffer 5).



**Bild 2.2** Verbraucher auf einem Fabrikgelände im 2-D-Koordinatensystem

### Ermittlung des Energieverbrauchs für das Rechenbeispiel

Damit eine Berechnung des Lastschwerpunkts auf dem Fabrikgelände möglich ist, muss für die einzelnen Verbraucher der geschätzte jährliche Energieverbrauch ermittelt werden. Zusätzlich müssen die Koordinaten der Unterverteilung oder der elektrischen Betriebsmittel innerhalb des Fabrikgeländes festgelegt werden, siehe **Tabellen 2.3 bis 2.7**.

Die im Bild 2.2 positionierten Gebäude auf dem Gelände einer Fabrik haben demnach folgende Koordinaten mit einem ermittelten Jahresverbrauch, siehe **Tabelle 2.8**.

Da die Lastschwerpunktermittlung nur zweidimensional erfolgt, werden nur die Koordinaten  $x_b$  und  $y_b$  betrachtet.

Bei den Koordinatenangaben geht man davon aus, dass die Abstände der Verbraucherzentren gleich den Längen der Kabelwege sind. Die tatsächlichen Längen der Kabel/Leitungen sind von den realen Kabeltrassen zwischen Schaltanlage und Verbrauchern abhängig.

Rechenzentrum (Koordinaten)						
Verbraucher	Anzahl	Anschlusswert	Nutzung pro Tag in Stunden	Nutzung pro Woche in Tagen	Nutzung im Jahr in Wochen	EAC
Beleuchtung	10	0,050 kW	9 h	5 d	48 Wo.	1 080 kWh
Klimaanlage	3	1 kW	24 h	7 d	52 Wo.	26 208 kWh
Server	20	0,250 kW	24 h	7 d	52 Wo.	43 680 kWh
Speicher	10	0,250 kW	24 h	7 d	52 Wo.	21 840 kWh
Terminals	2	0,150 kW	24 h	7 d	52 Wo.	2 620 kWh
Gesamt	Σ					<b>95 428 kWh</b>

**Tabelle 2.3** Ermittlung des jährlichen Energieverbrauchs für das Rechenzentrum

Büro						
Verbraucher	Anzahl	Anschlusswert	Nutzung pro Tag in Stunden	Nutzung pro Woche in Tagen	Nutzung im Jahr in Wochen	EAC
Beleuchtung	50	0,050 kW	9 h	5 d	48 Wo.	5 400 kWh
Klimaanlage	1	15 kW	9 h	5 d	48 Wo.	32 400 kWh
PC/Laptop	40	0,150 kW	9 h	5 d	48 Wo.	12 960 kWh
Drucker	5	0,250 kW	4 h	5 d	48 Wo.	1 200 kWh
Kaffeemaschine	5	1 kW	1 h	5 d	48 Wo.	1 200 kWh
Spülmaschine	2	1,5 kW	1 h	5 d	48 Wo.	720 kWh
Gesamt	Σ					<b>53 880 kWh</b>

**Tabelle 2.4** Ermittlung des jährlichen Energieverbrauchs für das Büro

<b>Kantine</b>						
<b>Verbraucher</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anschlusswert</b>	<b>Nutzung pro Tag in Stunden</b>	<b>Nutzung pro Woche in Tagen</b>	<b>Nutzung im Jahr in Wochen</b>	<b>EAC</b>
Beleuchtung	100	0,050 kW	3 h	5 d	48 Wo.	3 600 kWh
Wärmestrahler Essenausgabe	6	2 kW	3 h	5 d	48 Wo.	8 640 kWh
Registrierkassen	4	0,150 kW	3 h	5 d	48 Wo.	576 kWh
Herd	2	32 kW	2 h	5 d	48 Wo.	30 720 kWh
Bräter	2	12 kW	2 h	5 d	48 Wo.	11 520 kWh
Tellerwärmer	4	0,2 kW	4 h	5 d	48 Wo.	768 kWh
Spülmaschine	2	22 kW	2 h	5 d	48 Wo.	21 120 kWh
Kühlschrank	4	0,30 kW	24 h	7 d	52 Wo.	10 483 kWh
Gesamt	Σ					<b>52 310 kWh</b>

**Tabelle 2.5** Ermittlung des jährlichen Energieverbrauchs für die Kantine

<b>Parkhaus</b>						
<b>Verbraucher</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Anschlusswert</b>	<b>Nutzung pro Tag in Stunden</b>	<b>Nutzung pro Woche in Tagen</b>	<b>Nutzung im Jahr in Wochen</b>	<b>EAC</b>
Beleuchtung	100	0,050 kW	4 h	5 d	48 Wo.	4 800 kWh
Schranken	2	0,5 kW	2 h	5 d	48 Wo.	480 kWh
Lüftung	4	0,5 kW	4 h	5 d	48 Wo.	1 920 kWh
Gesamt	Σ					<b>7 200 kWh</b>

**Tabelle 2.6** Ermittlung des jährlichen Energieverbrauchs für das Parkhaus

Fertigung						
Verbraucher	Anzahl	Anschlusswert	Nutzung pro Tag in Stunden	Nutzung pro Woche in Tagen	Nutzung im Jahr in Wochen	EAC
Beleuchtung	100	0,050 kW	9 h	5 d	48 Wo.	4 800 kWh
Maschinentyp A	10	25 kW	8 h	5 d	48 Wo.	480 000 kWh
Maschinentyp B	20	10 kW	8 h	5 d	48 Wo.	384 000 kWh
Maschinentyp C	30	5 kW	8 h	5 d	48 Wo.	288 000 kWh
Lüftungsanlage	8	0,5 kW	9 h	5 d	48 Wo.	8 640 kWh
Gesamt	Σ					<b>1 156 440 kWh</b>

**Tabelle 2.7** Ermittlung des jährlichen Energieverbrauchs für die Fertigung

Verbraucher/Einrichtung	x-Koordinaten	y-Koordinaten	EHC <sup>*)</sup> jährlicher Energieverbrauch
Rechenzentrum	$x_1 = 50 \text{ m}$	$y_1 = 175 \text{ m}$	$W_1 = 95\,428 \text{ kWh}$
Büros	$x_2 = 50 \text{ m}$	$y_2 = 75 \text{ m}$	$W_2 = 53\,880 \text{ kWh}$
Kantine	$x_3 = 125 \text{ m}$	$y_3 = 125 \text{ m}$	$W_3 = 52\,310 \text{ kWh}$
Parkhaus	$x_4 = 175 \text{ m}$	$y_4 = 50 \text{ m}$	$W_4 = 7\,200 \text{ kWh}$
Fertigung	$x_5 = 250 \text{ m}$	$y_5 = 100 \text{ m}$	$W_5 = 1\,156\,440 \text{ kWh}$

<sup>\*)</sup> EHC: estimated annual consumption = geschätzter Jahresverbrauch

**Tabelle 2.8** Zuordnung der Koordinaten von Verbraucherzentren/Anlagen

### Formeln für die Berechnung der Lastschwerpunktkoordinaten in einem zweidimensionalen Koordinatensystem

Für die Ermittlung der Lastschwerpunktkoordinaten wird jede Koordinate einzeln berechnet, siehe **Tabelle 2.9**.

Koordinaten	Formeln
x-Koordinate	$x_b = \frac{(x_1 \cdot W_1) + (x_2 \cdot W_2) + \dots + (x_n \cdot W_n)}{W_1 + W_2 + \dots + W_n}$
y-Koordinate	$y_b = \frac{(y_1 \cdot W_1) + (y_2 \cdot W_2) + \dots + (y_n \cdot W_n)}{W_1 + W_2 + \dots + W_n}$

**Tabelle 2.9** Berechnung der Koordinaten des Lastschwerpunkts in einem zweidimensionalen Koordinatensystem



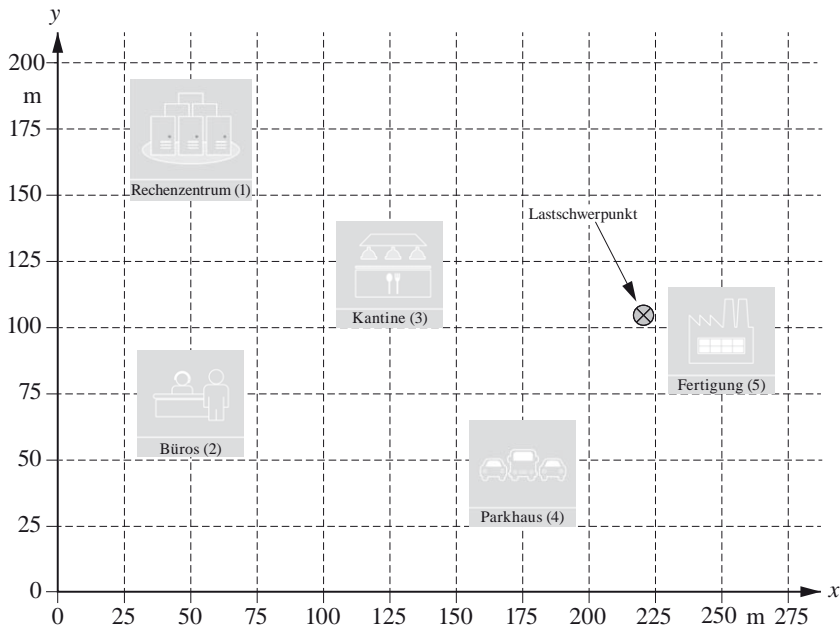
### Berechnung der $x$ -Koordinaten des Lastschwerpunkts

$$\begin{aligned}x_b &= \frac{(x_1 \cdot W_1) + (x_2 \cdot W_2) + (x_3 \cdot W_3) + (x_4 \cdot W_4) + (x_5 \cdot W_5)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} \\&= \frac{(50 \cdot 95\,428) + (50 \cdot 53\,880) + (125 \cdot 52\,310) + (175 \cdot 7\,200) + (250 \cdot 115\,640)}{95\,428 + 53\,880 + 52\,310 + 7\,200 + 115\,640} \\&= \frac{(4\,771\,400) + (2\,694\,000) + (6\,538\,750) + (1\,260\,000) + (289\,100\,000)}{95\,428 + 53\,880 + 52\,310 + 7\,200 + 115\,640} \\&= \frac{304\,374\,150}{1\,365\,258} = \underline{\underline{222,94 \text{ m}}}.\end{aligned}$$

### Berechnung der $y$ -Koordinaten des Lastschwerpunkts

$$\begin{aligned}y_b &= \frac{(y_1 \cdot W_1) + (y_2 \cdot W_2) + (y_3 \cdot W_3) + (y_4 \cdot W_4) + (y_5 \cdot W_5)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} \\&= \frac{(175 \cdot 95\,428) + (75 \cdot 53\,880) + (125 \cdot 52\,310) + (50 \cdot 7\,200) + (100 \cdot 115\,640)}{95\,428 + 53\,880 + 52\,310 + 7\,200 + 115\,640} \\&= \frac{(16\,699\,900) + (4\,041\,000) + (6\,538\,750) + (360\,000) + (11\,564\,000)}{95\,428 + 53\,880 + 52\,310 + 7\,200 + 115\,640} \\&= \frac{143\,283\,650}{1\,365\,258} = \underline{\underline{104,95 \text{ m}}}.\end{aligned}$$

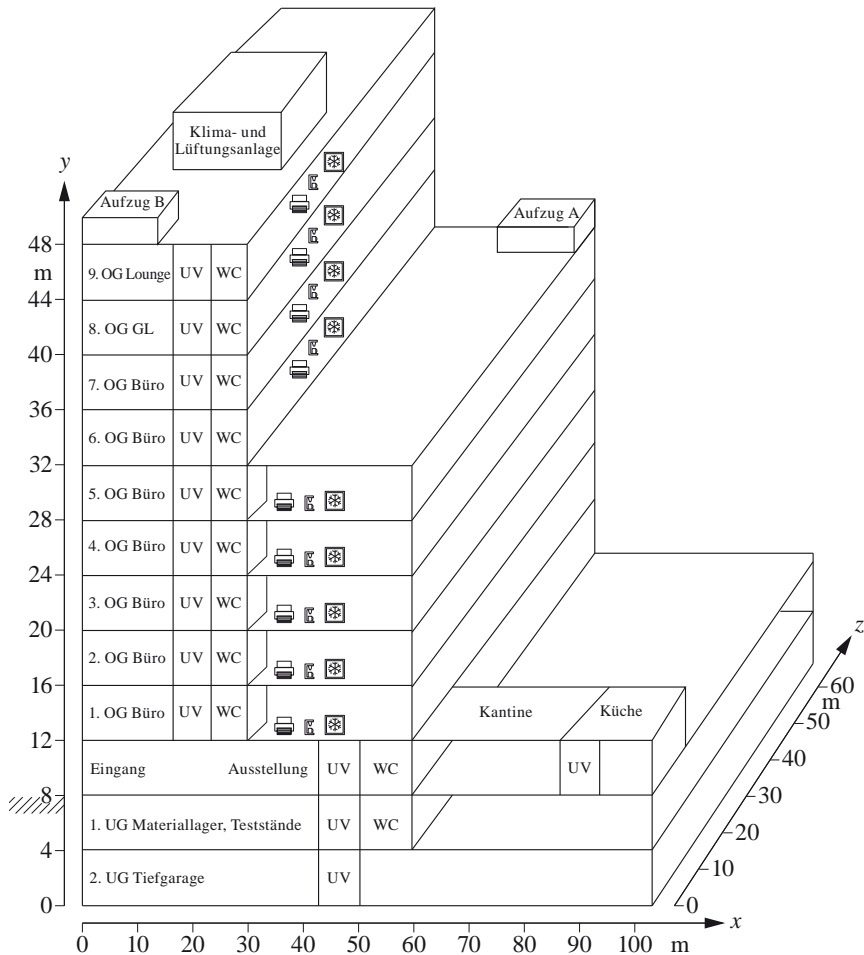
Da die Fertigung die meiste Energie benötigt, liegt der Lastschwerpunkt bei diesem Beispiel in der Nähe der Fertigung. In diesem Fall können die Transformatorstation und die zentrale Hauptverteilung in der Halle der Fertigung errichtet werden, siehe **Bild 2.3**. Das Berechnungsbeispiel wurde bewusst so einfach ausgewählt, damit der Beweis für die Richtigkeit der Rechnungsmethode einfach nachvollziehbar ist. Bei komplexen Anlagen kann der Lastschwerpunkt jedoch nicht ohne Weiteres emotional festgelegt werden.



**Bild 2.3** Position des Lastschwerpunkts im Fabrikgelände

### 2.5.2 Beispiel einer Lastschwerpunktberechnung für ein Bürohaus

Für die Ermittlung des Lastschwerpunkts in einem Bürogebäude, kann auch das Matrixverfahren angewandt werden. Doch bei einer solchen elektrischen Anlage lohnt es sich, die dreidimensionale Bewertung vorzunehmen (**Bild 2.4**). Elektrische Verbraucher, die nur zusammen einen nennenswerten Verbraucher darstellen, sollten dabei für jede Etage in einer Unterverteilung zusammengefasst betrachtet werden. Dies können z. B. die Beleuchtung, die Stromversorgung der Telefone, der PCs und Monitore sein. Auch bei der dreidimensionalen Auswertung werden die elektrischen Betriebsmittel und die Unterverteiler mit nennenswertem Verbrauch in einem Koordinatensystem mit ihrem Abstand zu den anderen elektrischen Betriebsmitteln/Unterverteilungen ermittelt und deren Positionen festgelegt.



**Bild 2.4** Verbraucher in einem Bürogebäude im 3-D-Koordinatensystem