

# Aufgaben zum Onlineversuch „Demand Side Integration“ – Flexibilisierung der Stromnachfrage

## **Bearbeitung als Spezialisierungsfachversuch:**

Bearbeiten Sie beide Aufgaben und geben Sie ein Word- oder PDF-Dokument mit den Lösungen zu Aufgabe 1 und Aufgabe 2 i) – k) sowie das Excel-Dokument „Papierfabrik“ mit ausgefülltem Tabellenblatt „Lösungsbogen“ mit den Ergebnissen der Aufgabe 2 Teilaufgabe a) – h) ab.

## **Bearbeitung als APMB-Versuch:**

Bearbeiten Sie beide Aufgaben und geben Sie ein Word- oder PDF-Dokument mit den Lösungen zu Aufgabe 1 Teilaufgabe a) – c) sowie das Excel-Dokument „Papierfabrik“ mit ausgefülltem Tabellenblatt „Lösungsbogen“ mit den Ergebnissen der Aufgabe 2 Teilaufgabe a) – c) ab.

## **Aufgabe 1: Aufgaben zum Skript**

**Bearbeitungshinweis:** Lesen Sie das Skript aufmerksam und beantworten Sie die Aufgaben schriftlich. Häufig genügen Stichworte oder 1-2 präzise Sätze pro Frage.

- a) Nennen Sie die 3 Technologien, die im traditionellen Energiesystem hauptsächlich für den Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage zur Verfügung stehen?
- b) Was bedeutet Demand Side Integration? Und warum wird sie zunehmend wichtiger?
- c) Warum stellt DSI eine vielversprechende Option zur Systemflexibilisierung dar? In welchen drei Bereichen können DSI-Potentiale dem Elektrizitätssystems Nutzen stiften?
- d) Worin unterscheidet sich das wirtschaftliche DSI-Potential vom technischen DSI-Potential? Überlegen Sie sich ein Beispiel aus Ihrem Alltag für ein technisches DSI-Potential, das nicht wirtschaftlich ist und nennen Sie dieses.
- e) Beschreiben Sie, was die Merit-Order-Kurve der Flexibilitätsoptionen in Abb. 13 des Skriptes zeigt. Welche Informationen können aus einer spezifischen Variante abgelesen werden?

## **Aufgabe 2: Betriebliches Energiemanagement einer Papierfabrik**

### **Bearbeitungshinweise:**

Die Lösung der Aufgabenteile a) - h) muss ausschließlich in Form der ausgefüllten Excel-Datei „Papierfabrik“ abgegeben werden. Bitte führen Sie die Rechnungen in der Datei „Papierfabrik“ im Tabellenblatt „Lösungsbogen“ in den vorhandenen Tabellen durch und füllen Sie insbesondere auch die gelb hinterlegten Lösungsfelder aus. Bitte führen Sie an der Struktur dieser Datei sonst keine Änderungen durch. Grau hinterlegte Felder enthalten Angaben der Aufgabenstellung, bitte diese

Felder selbst nicht verändern. Für die Bearbeitung der Aufgabenteile i) und j) können Sie die Daten der Tabellenblätter „Betriebliche Sicht“ und „Lastprofile“ zu Hilfe nehmen. Die Aufgaben i) und j) jedoch bitte nicht in Excel ausarbeiten, sondern die Lösung in Form eines Fließtextes (z. B. Word-Datei oder PDF) abgeben.

### **Annahmen zur Papierfabrik:**

Betrachtet wird eine Papierfabrik mit einer Papiermaschine, einer Anlage zur Altpapieraufbereitung, einer Anlage zur Zellstoffaufbereitung und mit einem eigenen Gaskraftwerk. Die Fabrik befindet sich in Süddeutschland, ist an das Mittelspannungsnetz (20 kV) angeschlossen und bezieht jährlich etwa 35 GWh Strom. Dementsprechend verfügt sie über eine registrierende Lastgangmessung und gilt als energieintensiver Letztverbraucher. Es wird von einem ganzjährigen Betrieb, d. h. von 360 Betriebstagen pro Jahr, ausgegangen. Nehmen Sie für die gesamte Aufgabe an, dass das Jahr 360 Tage hat. In der Aufgabe wird exemplarisch ein Betriebstag in einer stündlichen zeitlichen Auflösung betrachtet.

Die Papierfabrik verfügt über die folgenden Anlagen und Eigenschaften:

- Die Papiermaschine hat eine elektrische Leistung von 5 MW, ist zu 100 % ausgelastet, d. h. sie sollte stets durchgehend unter Volllast laufen. Unterbrechungen sind mit teurem Produktionsausfall verbunden und sollten nach Möglichkeit vermieden werden.
- Die Anlage zur Altpapieraufbereitung hat eine elektrische Leistung von 3,2 MW. Die Anlage ist zu 87,5 % ausgelastet, d. h. sie läuft 21 h am Tag unter Volllast. Um unnötige Kosten für Hoch- und Runterfahren der Anlage zu umgehen, darf es nur eine Unterbrechung pro Tag geben. Da ein Speicher für das aufbereitete Altpapier vorhanden ist, kann der Betriebszeitraum flexibel gewählt werden.
- Die Anlage zur Zellstoffaufbereitung hat eine elektrische Leistung von 2 MW und ist zu 25 % ausgelastet, d. h. sie läuft 6 h täglich unter Volllast. Um unnötige Kosten für Hoch- und Runterfahren der Anlage zu umgehen, sollte diese Laufzeit nicht unterbrochen werden. Da ein Zellstoff-Speicher vorhanden ist, kann der Betriebszeitraum flexibel gewählt werden.
- Für den Betrieb der Papiermaschine und anderen Anlagen sind produktionsbegleitende Prozesse wie eine Vorsortierung und Druckluftbereitstellung notwendig, die insgesamt eine elektrische Leistung von 0,8 MW haben. Da kleine Speicher vorhanden sind, ist es möglich, diesen Prozess zweimal täglich für je 1 h zu unterbrechen. Eine 2-stündige Unterbrechung ist dagegen nicht möglich. Die Anlage läuft entsprechend mit einer Auslastung von 91,7 % bzw. 22 h am Tag unter Volllast.
- Für die Versorgung der Anlagen mit Prozesswärme (in dieser Aufgabe nicht näher betrachtet) und für die elektrische Eigenerzeugung ist zudem ein eigenes Gaskraftwerk mit einer maximalen elektrischen Leistung von 5 MW vorhanden. Das Gaskraftwerk ist frei regelbar und kann nach Belieben eingesetzt werden zu variablen Kosten von 215 €/MWh.

In dieser Aufgabe werden die Energiekosten der Papierfabrik betrachtet, die sich aus den Kosten für fremdbezogenen Strom und aus den variablen Kosten des Gaskraftwerkes zusammensetzen. Zielsetzung des Energiemanagements ist eine Minimierung der Energiekosten unter den o.g. Rahmenbedingungen mit verschiedenen Optionen:

## Aufgaben:

- a) Berechnen Sie den täglichen und jährlichen (360 Tage/a) Stromverbrauch der Papierfabrik sowie die Menge des zu beziehenden Fremdstroms jeweils ohne Einsatz des Gaskraftwerkes und mit maximalem Einsatz des Gaskraftwerkes. Wie hoch ist jeweils die maximale Leistung, die aus dem Stromnetz bezogen wird?
- b) Für den Fremdstrombezug fallen verschiedene Netzentgelte an, die vom Netzbetreiber erhoben werden. Das Netznutzungsentgelt der Papierfabrik umfasst einen jährlichen Leistungspreis von 84,25€ / kW der Maximalleistung und einen Arbeitspreis von 1,73 ct/kWh.

Zusätzlich werden die bezogene Strommenge folgende Aufschläge in ct/kWh berechnet:

- Offshore-Netzumlage	0,591
- KWK-Umlage	0,357
- Umlage Abschaltbare Lasten § 18 AbLaV	0,003
- Umlage nach § 19 StromNEV	0
- EEG-Umlage	0
- Konzessionsabgabe	0,11

Berechnen Sie für die Fälle aus a) das Netzentgelt in EUR, das die Papierfabrik entrichten muss, pro Tag und pro Jahr.

**Hinweis:** Für die gesamten Aufgabe wird die Annahme getroffen, dass ein Jahr aus 360 Tagen besteht. Legen Sie für die tägliche Berechnung den Leistungspreis auf 360 Betriebstage um. Steuern brauchen nicht berücksichtigt zu werden.)

- c) Für die Papierfabrik als Großkunde betrage der Preis für Wirkarbeit 13,18 ct/kWh zzgl. der Entgelte, Umlagen etc. entsprechend Aufgabe b).  
Wie sollte das Gaskraftwerk eingesetzt werden, damit die Energiekosten minimal sind?  
Berechnen Sie die täglichen und jährlichen Strom-, Gaskosten und gesamten Energiekosten der Papierfabrik.
- d) Das Betriebsmanagement der Papierfabrik hat die Möglichkeit in einen HT/NT-Tarif zu wechseln. Der Hochtarif gilt von 6-22 Uhr mit einem Strompreis von 14,5 ct/kWh. Von 22-6 Uhr gilt der Niedrigtarif mit 11,5 ct/kWh. Für die Netzentgelte gelte die Tarifordnung aus b).  
Wie sollten die Anlagen über den Tagesverlauf eingesetzt werden, um die Energiekosten zu minimieren? Markieren Sie in der Tabelle eine der günstigsten Möglichkeiten, die verfügbaren Anlagen einzusetzen. (Die ersten Felder von Papiermaschine und Gaskraftwerk sind als Beispiel bereits ausgefüllt.)  
Berechnen Sie die Energiekosten dieser Variante. Kann das Betriebsmanagement der Papierfabrik seine Energiekosten durch den Tarifwechsel senken?
- e) In einem weiteren Szenario soll die atypische Netznutzung nach § 19 Abs. 1 Satz 1 StromNEV genutzt werden, vgl. Skript.

Im Winter (Dez.-Feb.) ist das Hochlastzeitfenster im Zeitraum 9-20 Uhr, im Frühjahr (März-Mai) 19-20 Uhr. Markieren Sie in den beiden Tabellen, wie die Anlagen im Tagesverlauf für die jeweiligen Jahreszeiten eingesetzt werden sollten, damit die Energiekosten minimal sind.

Bestimmen Sie für beide Fälle die höchste Last im Hochlastzeitfenster und berechnen Sie für beide Tage einzeln die Energiekosten unter Berücksichtigung des reduzierten Netznutzungsentgelts entsprechend der Tarifordnung in b) und mit einem Wirkarbeitspreis von 13,18 ct/kWh.

Rechnen Sie die Kosten zudem jeweils auf  $\frac{1}{4}$  Jahr, d. h. hier auf 90 Tage hoch. Berechnen Sie zudem die Energiekosten für Sommer und Herbst; sie können hierfür von einer maximalen Last von 6 MW (Sommer) bzw. 4 MW (Herbst) ausgehen. Rechnen Sie anschließend die Kosten auf das gesamte Jahr hoch.

**Hinweis:** Die Umlagen für KWK, EEG, etc. bleiben unverändert.

- f) Weiterhin soll die Papierfabrik als Bandkunde entsprechend § 19 Abs. 1 Satz 2 StromNEV betrachtet werden. Es wird hier ein individuelles Netznutzungsentgelt von 60% des allgemeinen Entgeltes angenommen, wenn die Papierfabrik mindestens 8.000 Benutzungsstunden vorweisen kann.

Zeigen Sie mit einer Tabelle, wie die Anlagen eingesetzt werden müssen, damit über 8.000 Benutzungsstunden vorliegen und die Energiekosten minimal sind.

Berechnen Sie die Energiekosten basierend auf den Tarifbedingungen aus b) mit dem reduzierten Netznutzungsentgelt. Der Preis der Wirkarbeit beträgt 13,18 ct/kWh.

**Hinweis:** Die Umlagen für KWK, EEG, etc. bleiben unverändert!

**Tipp:** Sorgen Sie dafür, dass die Last zu keinem Zeitpunkt mehr als 9 MW beträgt.

- g) Weiterhin hat das Betriebsmanagement der Papierfabrik die Möglichkeit Regelleistung am Markt anzubieten. Über das Gaskraftwerk werden 5 MW negative Minutenregelleistung über den Zeitraum von einem Monat zu einem Leistungspreis von 2.000 €/MW und einem Arbeitspreis von 120 €/MWh angeboten. Die Papiermaschine biete über den Zeitraum von einem Monat 5 MW positive Minutenregelleistung zu einem Leistungspreis von 3.500 €/MW und einem Arbeitspreis von 500 €/MWh an.

Berechnen Sie die Erlöse, die jeweils durch einen 4-stündigen Abruf von 5 MW Regelleistung generiert werden. Wie hoch sind die Erlöse umgerechnet auf einen Tag, wenn die Regelleistung über ein gesamtes Jahr angeboten wird und viermal (Gaskraftwerk) bzw. einmal (Papiermaschine) abgerufen wird? Wie hoch sind die Energiekosten in Kombination mit dem Ergebnis aus c)?

- h) Alternativ soll angenommen werden, dass der Strom direkt an der Strombörse bezogen wird. Für die Netzentgelte gelte die Tarifordnung aus b).

Recherchieren Sie die stündlichen Großhandelspreise für Strom in Deutschland für den 21.02.2023 und den 18.06.2023 auf der Datenplattform <https://www.smard.de/> der Bundesnetzagentur.

Markieren Sie in der Tabelle, wie die Anlagen über die jeweiligen Tagesverläufe eingesetzt werden sollen. Geben Sie zudem an, wie das Gaskraftwerk eingesetzt werden soll, um die

Gesamtkosten zu minimieren. Berechnen Sie exemplarisch für beide Tage die optimierten Energiekosten.

**Tipp:** Vergleichen Sie den Kostenvorteil von Netzstrom gegenüber selbstproduziertem Strom vom Gaskraftwerk mit den Einsparungen bei Spitzenlastsenkung.

i) Diskutieren Sie die unterschiedlichen Optionen Standardtarif, HT/NT-Tarif, atypische Netznutzung, Bandkunde, Regelleistung, Strombörse mit ihren Vor- und Nachteilen aus betrieblicher Sicht. Wenn Sie das Management der Papierfabrik beraten würden, zu welchen der berechneten Optionen würden Sie raten? Welche würden Sie nicht empfehlen? Warum? Sie können hierzu die Übersichtstabelle im Tabellenblatt „Betriebliche Sicht“ als eine Grundlage ihrer Argumentation verwenden. Bitte formulieren Sie Ihre Antwort in Form eines Fließtextes (Umfang: ca. ½ Seite) aus.

j) Perspektivwechsel: Wie bewerten Sie die unterschiedlichen Optionen des Energiemanagements der Papierfabrik aus der Sicht des gesamten Energiesystems? Welche Optionen führen zu einem systemdienlichen Verhalten der Papierfabrik? Mit welchen Optionen wird für das Gesamtsystem Flexibilität bereitgestellt?

Verwenden Sie als Grundlage Ihrer Diskussion auch die Residuallastprofile der Tage 21.02.2023 und 18.06.2023. Sie können dazu die Stromerzeugung nach Energieträgern und die Gesamtlast für diese Tage auf der Datenplattform <https://www.smard.de/> der Bundesnetzagentur abrufen und die Residuallast berechnen. Bitte formulieren Sie Ihre Antwort in Form eines Fließtextes (Umfang: ca. ½ Seite) aus.

**Hinweis:** Die realisierte Residuallast entspricht der realisierten Gesamtlast vermindert um die realisierte Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (Wasserkraft, Windkraft, Sonnenenergie).

k) Betrachten Sie Ihre Ergebnisse aus i) und j) und ziehen Sie ein Fazit. Wie bewerten Sie die Situation für Industriebetriebe wie die Papierfabrik Flexibilität für das Energiesystem bereitzustellen? Welches sind die entscheidenden Anreize oder Hemmnisse? Wo sehen Sie Verbesserungsmöglichkeiten? Bitte formulieren Sie Ihre Antwort in Form eines Fließtextes (Umfang: ca. ½ Seite) aus.