

---

# Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften

---

L. Gruber<sup>1</sup>, T. Klatzer<sup>1</sup> and S. Wogrin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (IEE), Technische Universität Graz, Graz, Österreich*

Publication date: 31. März 2023

---

**Abstract**—Ziel dieses Projekts ist es, verschiedene Methoden der Energieverteilung zwischen Gemeinschaften und ihren Mitgliedern zu analysieren, wenn es eine Mehrfachbeteiligung gibt. Es werden vier Algorithmen aufgestellt und anschließend auf Lösbarkeit, Komplexität, Verständlichkeit und Fairness getestet. Nur einer hat sich in allen Kategorien bewährt: die verteilte Nachfrage/Produktion. Bei diesem Algorithmus ist eine Vorverarbeitungsphase vorgesehen, in der jeder Verbraucher/Erzeuger angeben muss, welcher Prozentsatz seines Verbrauchs/ihrer Erzeugung an die verschiedenen Gemeinschaften geht, an denen er teilnimmt. Auf diese Weise kann die Energieverteilung in allen Gemeinschaften parallel und ohne Abhängigkeiten erfolgen. Die Ergebnisse dieses Projekts empfehlen diesen Algorithmus für die weitere Regulierung der Mehrfachbeteiligung an Energiegemeinschaften.

---

## 1. Einleitung

Dieses Dokument enthält einen Bericht des Institutes für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation (IEE) für Oesterreichs Energie zum Themengebiet Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften. Projektziel ist die Erstellung eines mathematischen Modells um Szenarioanalysen durchzuführen und die Grenzen der Mehrfachteilnahmen an Energiegemeinschaften zu untersuchen. Der technische Inhalt der Kollaboration zwischen IEE und Oesterreichs Energie besteht aus drei Abschnitten:

1. Erstellung der mathematischen Formulierung des Modells, welches die Mehrfachbeteiligung an Energiegemeinschaften beschreibt und deren Simulation ermöglicht,
2. Entwicklung der Lösungsalgorithmen, und
3. damit verbundene Analysen.

Im Zuge des Projekts sollen zwölf verschiedene Fälle mit folgenden zwei Szenarien zur Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften analysiert werden:

1. Die Teilnahme an mehreren unterschiedlichen Energiegemeinschaften.
2. Die Teilnahme an mehreren gleichartigen Energiegemeinschaften.

Die Fälle stellen die verschiedenen Stufen der Komplexität dar, die mit der Mehrfachbeteiligung verbunden sind. Es beginnt damit, dass nur ein Erzeuger oder Verbraucher an mehreren Energiegemeinschaften teilnimmt (Fälle 1-2 und 3-4), und steigert sich bis zur Teilnahme mehrerer Erzeuger und Verbraucher an mehreren Gemeinschaften (Fall 12). Das Modell für die Aufteilung von Energie zwischen mehreren

Energiegemeinschaften ist die Grundlage für die numerischen Simulationen, mit denen die Szenarioanalysen ausgeführt werden sollen. Um das Modell numerisch lösen zu können, werden entsprechende Lösungsalgorithmen für die zwei oben genannten Szenarien erarbeitet. Die entwickelten Lösungsalgorithmen sind abhängig von den Fällen und deren Szenarien. Das Ziel dieser Kollaboration ist eine gesamtheitliche Fall- und damit einhergehende Szenarioanalyse der zwei oben genannten Szenarien. Als Werkzeug für die Szenarioanalyse werden das Modell und die dazu entwickelten Lösungsalgorithmen verwendet. In der Analyse gilt es die Möglichkeiten und Limitierungen jedes Lösungsalgorithmus individuell aufzuzeigen.

Der Rest dieses Berichts ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 2 ist die mathematische Formulierung des Modells für die Energieaufteilung in Gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen (GEAs), Erneuerbaren Energiegemeinschaften (EEGs) und Bürgerenergiegemeinschaften (BEGs) formuliert. In Kapitel 3 folgt die Beschreibung der zwölf Fälle anhand denen die Lösungsansätze mit den Szenarios getestet werden. In Kapitel 4 werden die entwickelten Lösungsalgorithmen beschrieben und nachfolgend in Kapitel 5 die Ergebnisse der Simulationen analysiert. Abschließend wird in Kapitel 6 das Fazit erläutert. Weiters sind noch Nomenklatur und Anhang in Kapiteln 7 bzw. 9 zu finden.

## 2. Mathematische Formulierung des Modells

In diesem Kapitel wird die mathematische Formulierung der Energieverteilung für die unterschiedlichen Arten von Energiegemeinschaften entwickelt. Zunächst in 2.1 die GEA- und EEG-Formulierung, die identisch sind, und anschließend die BEG-Formulierung in 2.2. Dies wird sowohl für dynamische als auch für statische Verteilungsarten durchgeführt. Als erstes wurde eine mathematische Formulierung für die statische und dynamische Verteilung für alle Energiegemeinschaftsarten erstellt. Im Modell werden unter anderem die folgenden Eingangsdaten angenommen. Die zugrundeliegende Zeiteinheit sind Viertelstunden:

- Anzahl und Art der Teilnehmenden (Einzelverbraucher oder Gemeinschaftsanlage),
- Prozentueller Anteil an Anlagen (bei statischer Verteilung),
- Zugehörigkeit der Teilnehmenden an einer oder mehreren Energiegemeinschaften,
- Art der Energiegemeinschaften,
- Gesamterzeugung in kWh aus elektrischen Anlagen pro Erzeugungsanlage und Zeiteinheit,
- Gesamtverbrauch pro Verbraucher:in und Zeiteinheit in kWh.

Im Modell gibt es die folgenden Variablen, die es zu lösen gilt:

- Aufteilung der Erzeugung pro Erzeugungsanlage und Zeiteinheit je Energiegemeinschaft in kWh,
- Zuordnung des Gesamtverbrauches pro Verbrauchsanlage und Zeiteinheit je Energiegemeinschaft,
- Energiefluss zwischen Energiegemeinschaften,
- Einspeisung ins Netz durch Lieferanten je Energiegemeinschaft und Zeiteinheit in kWh,
- Bezug aus dem Netz durch Lieferanten je Energiegemeinschaft und Zeiteinheit in kWh.

### 2.1. Gemeinschaftliche Erzeugungsanlage und Erneuerbare Energiegemeinschaft

Die folgende Formulierung kann für jede Gemeinschaft  $c$  des Typs GEA und EEG angewendet werden. Die nötigen Eingangsparameter hierfür sind die Erzeugung  $P$  und der Verbrauch  $D$  der Verbrauchsanlagen  $n$  und Erzeugungsanlagen  $g$  der Gemeinschaft zum Startzeitpunkt  $k$ . Im Fall einer statischen Verteilung ist noch der prozentuale Verteilungsschlüssel nötig.

#### 2.1.1. Statische Verteilung

1. **Schritt Verteilung:** Zuerst wird die Gesamterzeugung der Gemeinschaft  $P_{c,k}$  bestimmt (1). Danach kann mit anhand des prozentualen Verteilungsschlüssel die Energie aufgeteilt werden (2).

$$P_{c,k} = \sum_g P_{gc,k} \quad (1)$$

$$Share_{nc}^{kW} = Share_{nc}^{st\%} \cdot P_{c,k} \quad (2)$$

2. **Schritt Restnetzbezug:** Der Restnetzbezug  $R_{nc}$  von Verbraucher  $n$  ist die Differenz zwischen dem Verbrauch und dem Erzeugungsanteil des Verbrauchers. Der Restnetzbezug kann nicht kleiner Null sein.

$$R_{nc} = \begin{cases} 0, & \text{for } D_{nc,k} - Share_{nc}^{kW} \leq 0 \\ D_{nc,k} - Share_{nc}^{kW}, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

3. **Schritt Überschuss:** Das Gegenteil des Restnetzbezug ist der Überschuss  $Exe_{nc}$  des Verbrauchers (4). Für weitere Berechnungen ist es notwendig auch den Gesamtüberschuss der Gemeinschaft zu bestimmen (5).

$$Exe_{nc} = \begin{cases} Share_{nc}^{kW} - D_{nc,k}, & \text{for } Share_{nc}^{kW} - D_{nc,k} \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

$$Exe_c = \sum_n Exe_{nc} \quad (5)$$

4. **Schritt Eigendeckung:** Die Tatsächlich bezogene Energie des Verbrauchers  $n$  von der Gemeinschaft  $c$  entspricht der Eigendeckung.

$$Sc_{nc} = D_{nc,k} - R_{nc} \quad (6)$$

5. **Schritt neue Erzeugung und Verbrauch:** Als letzter Schritt muss die neue Erzeugung für alle Erzeuger (7) und der neue Verbrauch für alle Verbraucher (8) berechnet werden. Dies wird entweder an die nächste Gemeinschaft an der der Erzeuger bzw. Verbraucher teilnimmt oder, wenn dies nicht der Fall ist, an den Lieferanten  $s$  weitergegeben. Die Summe des prozentualen Verteilungsschlüssels kann kleiner als 100% sein. In diesem Fall bleibt abgesehen vom Überschuss  $Exe_c$  noch weitere unaufgeteilte Energie über, welche auf die Erzeuger aufgeteilt werden muss.

$$P_{gc,k+1} = \begin{cases} 0, & \text{for } P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_c + (P_{c,k} - \sum_{nc} Share_{nc}^{kW})}{P_{c,k}} \cdot P_{gc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$D_{nc,k+1} = R_{nc} \quad (8)$$

### 2.1.2. Dynamische Verteilung

In der dynamischen Verteilung steht der Erzeugungsanteil pro Verbraucher in Relation zu den anderen Verbräuchen in der Gemeinschaft.

1. **Schritt Verbrauch und Erzeugung:** Zuerst muss Gesamterzeugung (9) und -verbrauch (10) der Gemeinschaft berechnet werden.

$$P_{c,k} = \sum_g P_{gc,k} \quad (9)$$

$$D_{c,k} = \sum_n D_{nc,k} \quad (10)$$

2. **Schritt Überschuss:** Hier setzt sich der Überschuss aus der Differenz aus Gesamterzeugung und -verbrauch zusammen. Der Überschuss kann nicht negativ sein.

$$Exe_c = \begin{cases} P_{c,k} - D_{c,k}, & \text{for } P_{c,k} \geq D_{c,k} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

3. **Schritt Zuordnungsenergie:** Mithilfe des Überschusses wird die Energie die wirklich verteilt werden kann berechnet.

$$P_c^{dis} = P_{c,k} - Exe_c \quad (12)$$

4. **Schritt Verteilung:** Zuerst wird der jeweilige Verbrauch von  $n$  in Relation zum Gesamtverbrauch gesetzt (13) und dann wird mit dieser prozentualen Verteilung die Gesamterzeugung den einzelnen Verbrauchern zugeordnet (14).

$$Share_{nc}^{\%} = \frac{D_{nc,k}}{D_{c,k}} \quad (13)$$

$$Share_{nc}^{kW} = Share_{nc}^{\%} \cdot P_{c,k} \quad (14)$$

5. Schritt Eigendeckung: Bei der Eigendeckung handelt es sich wieder um die tatsächlich bezogene Energie und deshalb wird hier die Zuordnungsenergie verteilt.

$$Sc_{nc} = P_c^{dis} \cdot Share_{nc}^{\%} \quad (15)$$

6. Schritt Restnetzbezug:

$$R_{nc} = D_{nc,k} - Sc_{nc} \quad (16)$$

7. Schritt neue Erzeugung und Verbrauch: Hier ist die Herangehensweise gleich wie bei der statischen Verteilung nur kann in diesem Fall keine zusätzliche Energie abseits des Überschusses anfallen.

$$P_{gc,k+1} = \begin{cases} 0, & \text{for } P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_c}{P_{c,k}} \cdot P_{gc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (17)$$

$$D_{nc,k+1} = R_{nc} \quad (18)$$

## 2.2. Bürgerenergiegemeinschaften

In BEGs wird die Energie nicht direkt auf die Verbraucher aufgeteilt. Der Grund hierfür ist, dass die Verbraucher geographisch voneinander getrennt sind und bei der Abrechnung nicht nur einer sondern mehrere Netzbetreiber involviert sein können. Deshalb wird die Energie zuerst vom Verteilernetzübergreifenden Energiezuweiser (VEZ) auf die Netzbetreiber und dann durch diese auf die Verbraucher aufgeteilt. Weiters dürfen BEGs nicht nur erneuerbare, sondern auch fossile Energie erzeugen. Schritte 1-7 werden deshalb zweimal durchgeführt, einmal für den Erzeugungstyp ‘Erneuerbar’ und einmal für den Typ ‘Fossil’. Hierfür werden die Indizes  $r$  und  $f$  verwendet. Zuerst müssen die Netzbetreiber  $d$  die Gesamterzeugung  $P_{dc,k}$  und den Gesamtverbrauch  $D_{dc,k}$  der an der Gemeinschaft beteiligten Erzeuger und Verbraucher ermitteln.

1. Schritt Erzeugung je Netzbetreiber

$$P_{dc,k} = \sum_g P_{gd,k} \quad (19)$$

2. Schritt Verbrauch je Netzbetreiber

$$D_{dc,k} = \sum_n D_{nd,k} \quad (20)$$

3. Schritt prozentuale Verteilschlüssel (statisch): Um bei der statischen Verteilung die Energie auf die Netzbetreiber verteilen zu können muss zuerst der prozentuale Verteilschlüssel je Netzbetreiber berechnet werden.

$$Share_{dc}^{st\%} = \sum_n dShare_{nc}^{st\%} \quad (21)$$

4. Schritt Senden von  $d$  nach VEZ: Jetzt müssen die Ergebnisse der Schritte 1. bis 3. von allen Netzbetreibern an den VEZ übermittelt werden.

5. Schritt Gesamterzeugung der Gemeinschaft: Basierend auf den Information der Netzbetreiber berechnet der VEZ die Gesamterzeugung  $P_{c,k}$  der Gemeinschaft.

$$P_{c,k} = \sum_d P_{dc,k} \quad (22)$$

6. Schritt **Verteilung auf Netzbetreiber**: Mit all den nötigen Daten wird nun nach statischer oder dynamischer Verteilung die Energie auf die Netzbetreiber aufgeteilt. Hierfür können die Verteilungsformeln von GEA und EEG herangezogen werden nur werden die Verbraucher  $n$  durch die Netzbetreiber  $d$  ausgetauscht.

### Statische Verteilung

$$Share_{dc}^{kW} = Share_{dc}^{st\%} \cdot P_{c,k} \quad (23)$$

$$R_{dc} = \begin{cases} 0, & \text{for } D_{dc,k} - Share_{dc}^{kW} \leq 0 \\ D_{dc,k} - Share_{dc}^{kW}, & \text{else} \end{cases} \quad (24)$$

$$Sc_{dc} = D_{dc,k} - R_{dc} \quad (25)$$

### Dynamische Verteilung

$$D_{c,k} = \sum_d D_{dc,k} \quad (26)$$

$$Exe_c = \begin{cases} P_{c,k} - D_{c,k}, & \text{for } P_{c,k} - D_{c,k} \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (27)$$

$$P_c^{dis} = P_{c,k} - Exe_c \quad (28)$$

$$Share_{dc}^{\%} = \frac{D_{dc,k}}{\sum_d D_{dc,k}} \quad (29)$$

$$Share_{dc}^{kW} = Share_{dc}^{\%} \cdot P_{c,k} \quad (30)$$

$$Sc_{dc} = P_c^{dis} \cdot Share_{dc}^{\%} \quad (31)$$

$$R_{dc} = D_{dc,k} - Sc_{dc} \quad (32)$$

### 7. Schritt Überschuss $Exe_{dc}$ :

#### Statische Verteilung

Zuerst wird wie bei GEA und EEG der Überschuss je Netzbetreiber berechnet. Da hier die Netzbetreiber die Verbraucher wie auch die Erzeuger vertreten, ist das erst die erste Version davon. In der zweiten werden die Netzbetreiber wie Erzeuger gesehen.

$$Exe_{dc} = \begin{cases} 0, & \text{for } Share_{dc}^{kW} - D_{dc,k} \leq 0 \\ Share_{dc}^{kW} - D_{dc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (33)$$

$$Exe_{c,k} = \sum_d Exe_{dc} \quad (34)$$

$$Exe_{dc,k+1} = \begin{cases} 0, & \text{for } P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_c + (P_{c,k} - \sum_{nc} Share_{dc}^{kW})}{P_{c,k}} \cdot P_{dc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (35)$$

#### Dynamische Verteilung

Hier kann der Netzbetreiber gleich als Erzeuger gesehen werden und für den Überschuss die Formel für die "neue" Erzeugung (17) von GEA und EEG herangezogen werden.

$$Exe_{dc,k+1} = \begin{cases} 0, & \text{for } P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_c}{P_{c,k}} \cdot P_{dc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (36)$$

8. Schritt Erneuerbarer Erzeugungsanteil je Netzbetreiber: Nachdem die letzten Schritte einmal für die erneuerbare und einmal für die fossile Erzeugung ausgeführt werden, kann daraus der Anteil an erneuerbarer Erzeugung je Netzbetreiber bestimmt werden.

$$ResShare_{dc} = \begin{cases} 0, & \text{for } Share_{dc,r}^{kW} \\ & \& Share_{dc,f}^{kW} = 0 \\ \frac{Share_{dc,r}^{kW}}{Share_{dc,r}^{kW} + Share_{dc,f}^{kW}}, & \text{else} \end{cases} \quad (37)$$

9. Schritt Senden von VEZ nach d: Nun ist es nötig die Daten zur Weiterverarbeitung an die jeweiligen Netzbetreiber zu übermitteln.

10. Schritt Verteilung innerhalb der Netzgebiete: In diesem Schritt wird die Energie auf die Verbraucher in den Netzgebieten verteilt. Bei beiden Arten der Verteilung müssen zuerst die beiden Erzeugungsanteile von erneuerbarer und fossil Energie addiert werden.

$$P_{dc,k+1} = Sc_{dc,r} + Sc_{dc,f} \quad (38)$$

### Statische Verteilung

Verteilung: Für den Erzeugungsanteil pro Verbraucher wird die eben berechnete Gesamtenergie für Netzbetreiber  $d$  verwendet.

$$Share_{nc}^{kW} = Share_{nc}^{st\%} \cdot P_{c,k+1} \quad (39)$$

Restnetzbezug  $R_{nc}$ , Überschuss  $Exe_{nc}$ , Eigendeckung  $Sc_{nc}$  und neuer Verbrauch  $D_{nc,k+1}$  können wie bei GEA und EEG anhand (3)-(6) und (8) berechnet werden.

### Dynamische Verteilung

Auch die dynamische Verteilung ist gleich wie bei GEA und EEG nur werden hier statt den Gemeinschaftswerten die Netzbetreiberwerte verwendet. Überschuss:

$$Exe_{dc,k+2} = \begin{cases} P_{dc,k+1} - D_{dc,k}, & P_{dc,k+1} - D_{dc,k} \geq 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (40)$$

Zuordnungsenergie:

$$P_{dc}^{dis} = P_{dc,k+1} - Exe_{dc,k+2} \quad (41)$$

Verteilung:

$$Share_{nc}^{\%} = \frac{D_{nc,k}}{D_{dc,k}} \quad (42)$$

$$Share_{nc}^{kW} = Share_{nc}^{\%} \cdot P_{dc,k+1} \quad (43)$$

Eigendeckung:

$$Sc_{nc} = P_{dc}^{dis} \cdot Share_{nc}^{\%} \quad (44)$$

Restbezug:

$$R_{nc} = D_{nc,k} - Sc_{nc} \quad (45)$$

Neuer Verbrauch:

$$D_{nc,k+1} = R_{nc} \quad (46)$$

11. Schritt Erneuerbarer Erzeugungsanteil der Verbraucher: Der Anteil der erneuerbaren Energie ist bei jedem Verbraucher gleich wie bei seinem Netzbetreiber.

$$ResShare_{nc} = ResShare_{dc} \quad (47)$$

12. Schritt Überschuss ermitteln (statisch) und Überschuss auf Erzeuger aufteilen (dynamisch):

### Statische Verteilung

Der Gesamtüberschuss des Netzbetreibers wird für erneuerbare und fossile Erzeugung separat berechnet.

$$Exe_{dc+2,r} = \sum_n Exe_{nc} \cdot ResShare_{dc} \quad (48)$$

$$Exe_{dc+2,f} = \sum_n Exe_{nc} \cdot (1 - ResShare_{dc}) \quad (49)$$

### Dynamische Verteilung

Das ist der letzte Schritt für die dynamische Verteilung. Hier kann der schon berechnete Überschuss auf die einzelnen Erzeugungsanlagen anhand ihres prozentualen Anteils an der Gesamterzeugung aufgeteilt werden.

$$P_{gc,k+1} = \begin{cases} 0, & P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_{dc,k+1}}{P_{c,k}} \cdot P_{gc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (50)$$

13. Schritt Senden Überschuss von Netzbetreibern nach VEZ (statisch): Schritte 14-17 werden für fossile und erneuerbare Energie getrennt durchgeführt.

14. Schritt Neuer Gesamtüberschuss der Gemeinschaft (statisch): Der VEZ berechnet die Summe über den neuen Überschüsse  $Exe_d$ .

$$Exe_{c,k+1} = Exe_{c,k} + \sum_d Exe_{dc,k+2} \quad (51)$$

15. Schritt Verteilung auf alle Netzbetreiber (statisch): Bei der Aufteilung des neuen Gemeinschaftsüberschusses ist wieder zu beachten, dass der prozentuale Verteilungsschlüssel nicht 100% entsprechen muss.

$$Exe_{dc,k+3} = \begin{cases} 0, & P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_{c,k+1}}{P_{c,k}} \cdot P_{dc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (52)$$

16. Schritt Senden von VEZ an Netzbetreiber (statisch): Diese Information wird nun an die Netzbetreiber weitergeleitet.

17. Schritt Überschuss Verteilung jedes Netzbetreibers zu Erzeugungsanlagen (statisch): Der letzte Schritt der statischen Verteilung ist es den restlichen Überschuss  $Exe_{dc,k+3}$  an die Erzeugungsanlagen zu verteilen.

$$P_{gc,k+1} = \begin{cases} 0, & P_{c,k} = 0 \\ \frac{Exe_{dc,k+3}}{P_{c,k}} \cdot P_{gc,k}, & \text{else} \end{cases} \quad (53)$$

### 3. Fälle und Szenarios

Um die vier Lösungsansätze testen zu können, wurden Fälle erarbeitet. Abbildung 1 beschreibt dies. Das Kürzel  $n$  steht für die Verbraucher,  $g$  für die Erzeuger und  $c$  für die Gemeinschaft. Die Grafik zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Mehrfachbeteiligung von Verbrauchern auf der y-Achse und von Produzenten auf der x-Achse. Die ersten vier Fälle sind noch sehr simpel während die Komplexität von Fall

$\downarrow n \rightarrow g$	jeder $g$ in einer $c$	Ein $g$ in 2 $c$	Ein $g$ in $X$ $c$	Mehrere $g$ in 2 $c$	Mehrere $g$ in $X$ $c$
jeder $n$ in einer $c$		3. Fall	4. Fall	7. Fall	8. Fall
Ein $n$ in 2 $c$	1. Fall	5. Fall			
Ein $n$ in $X$ $c$	2. Fall		6. Fall		
Mehrere $n$ in 2 $c$	9. Fall			11. Fall	
Mehrere $n$ in $X$ $c$	10. Fall				12. Fall

Fig. 1: Übersicht der Fälle

zu Fall steigt (angedeutet durch die hinterlegten Farben: grün (simpel) bis rot (sehr komplex)). Einfache Fälle sind solche, in denen nur eine Einheit (Verbraucher oder Produzent) in zwei oder mehr als zwei Gemeinschaften gleichzeitig Mitglied ist. Die nächste Stufe der Komplexität (gelb) liegt vor, wenn ein einziger Produzent und ein einziger Konsument Mitglied mehrerer Gemeinschaften sind. In den Fällen 7-10 (orange) gibt es mehrere Verbraucher oder Produzenten in zwei oder mehr EGs. Am schwierigsten sind die Fälle 11 und 12, in denen mehrere Produzenten und mehrere Konsumenten gleichzeitig an mehreren EGs teilnehmen. Jeder der einzelnen Fälle wird anhand folgender Szenarien berechnet:

- **Szenario A:** Teilnahme an verschiedenen Typen von Energiegemeinschaften
- **Szenario B:** Teilnahme an gleichartigen Gemeinschaften

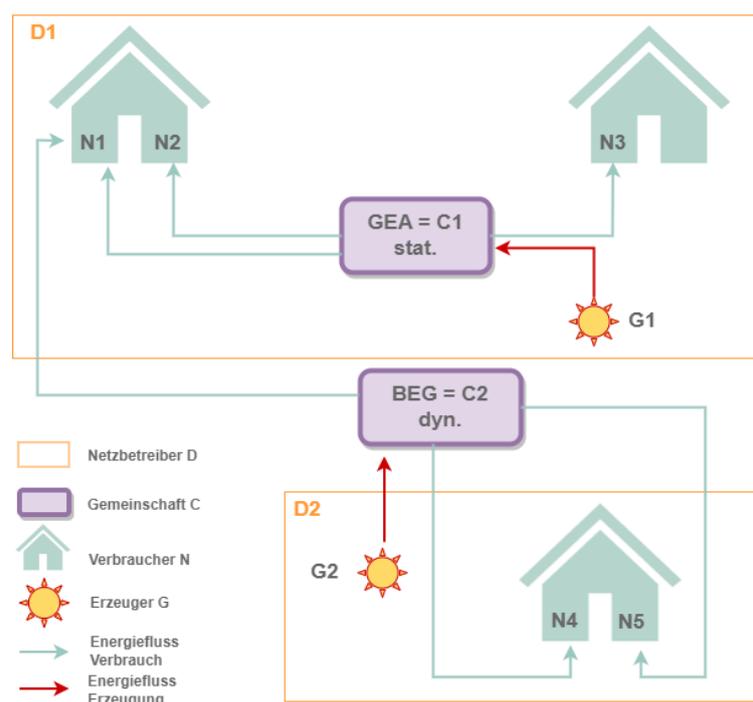
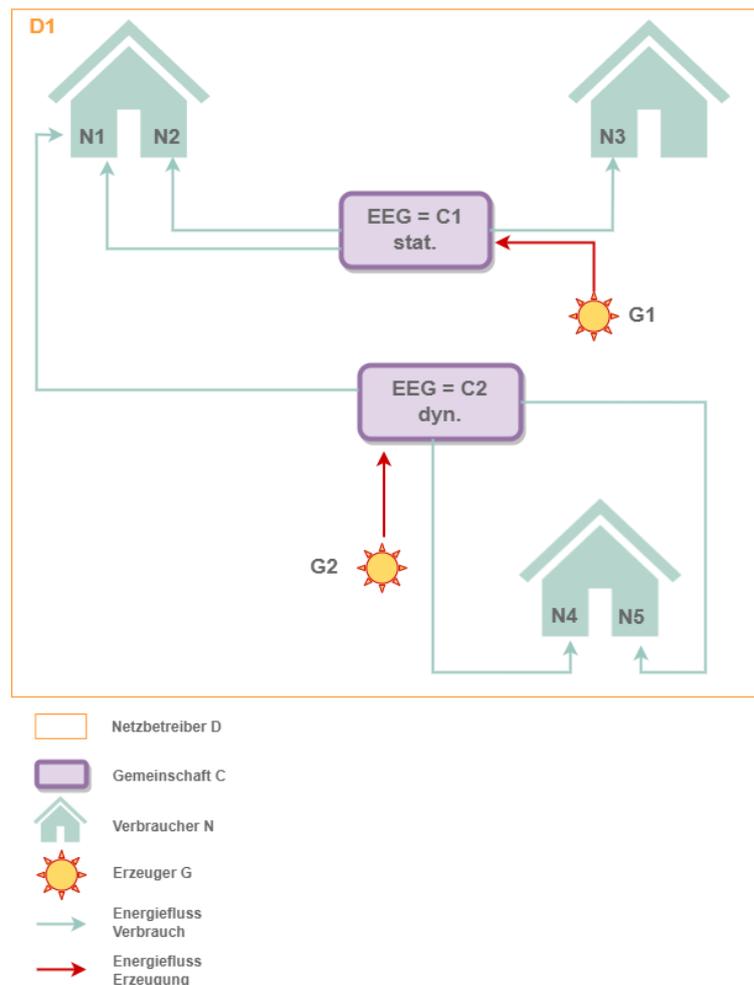


Fig. 2: Schematische Darstellung von Fall 1 Szenario A

Die Typen von Energiegemeinschaften umfassen GEA, EEG und BEG. Für jeden Fall wird eine beispielhafte Energiegemeinschaft erstellt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Gemeinschaften des ersten Falles. Hier ist ein Verbraucher ( $N_1$ ) Mitglied in zwei Gemeinschaften ( $C_1$  und  $C_2$ ). In Szenario A (Abbildung 2) ist er Mitglied in zwei verschiedenen Gemeinschaftstypen, nämlich einer GEA ( $C_1$ ) und einer BEG ( $C_2$ ). In Szenario B (Abbildung 3) ist er Mitglied von zwei EEGs, d.h. er nimmt an zwei Gemeinschaften desselben Typs teil. Die erste Gemeinschaft verwendet jeweils ein statisches Verteilungssystem und die zweite ein dynamisches. In beiden Szenarien gibt es fünf Verbraucher und zwei Erzeuger (einen für jede Gemeinschaft). In Szenario A sind aufgrund der BEG zwei Netzbetreiber beteiligt, in Szenario B aufgrund der EEGs einer. Die Abbildungen von den restlichen Beispiel-Gemeinschaftsstrukturen für Fälle 2-12 und deren Szenarien sind im Anhang (Kapitel 9) zu finden.



**Fig. 3:** Schematische Darstellung von Fall 1 Szenario B

## 4. Entwicklung von Lösungsalgorithmen

In diesem Kapitel werden die entwickelten Lösungsansätze für die Energieverteilung in Energiegemeinschaften mit Mehrfachteilnahme beschrieben.

### 4.1. Keine fixe Priorisierung

Im ersten Lösungsalgorithmus wird nach keiner bestimmten Priorisierung vorgegangen und die Energiegemeinschaften werden in einer zufälligen Reihenfolge nach einander die Verteilung durchgeführt. Hier ist die Willkürlichkeit in welcher Gemeinschaft die Energie zuerst verteilt wird der maßgebende Faktor.

### 4.2. Fixe Priorisierung

Ein weiterer Lösungsansatz ist die fixe Priorisierung von Energiegemeinschaften. Hier muss jeder Verbraucher/Erzeuger beim Beitritt in die EG angeben welche Gemeinschaft bevorzugt, also zuerst die Energiezuweisung durchgeführt werden sollen. Bei der Energiezuweisung wird dann nach dieser Prioritätenliste vorgegangen.

### 4.3. Hierarchisches System

Das hierarchische System ist an die Vergünstigungen der Netzgebühren und damit an die Netzdienlichkeit angelehnt. Der Ansatz ist, dass Energie möglichst lokal verbraucht wird. In diesem Lösungsalgorithmus werden zuerst die GEAs, dann die EEGs und zum Schluss die BEGs angerechnet. Wenn also z.B. ein Verbraucher in einer GEA und einer EEG ist wird nur der Verbrauch in der EEG Berechnung berücksichtigt der nach der Energieverteilung in der GEA als Restnetzbezug übergeblieben ist.

### 4.4. Verteilter Verbrauch

Hier wird ein Vorverarbeitungsschritt eingefügt, in dem jeder Verbraucher/Erzeuger angeben muss wie viel Prozent des Verbrauchs/der Erzeugung zu den verschiedenen Gemeinschaften geht, in denen sie teilnehmen. Dieser Prozess wird anhand (54)-(56) dargestellt. Danach wird in allen Gemeinschaften gleichzeitig die Energie verteilt, da es keine Abhängigkeit voneinander gibt.

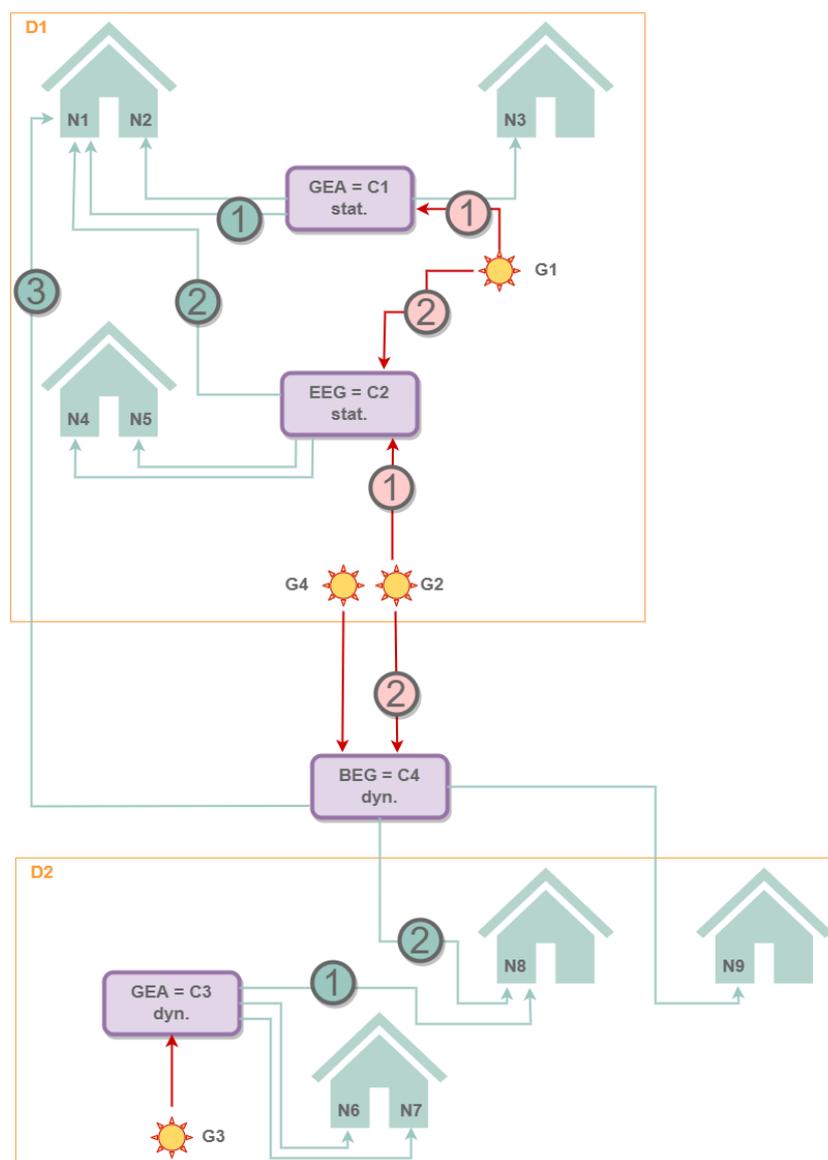
$$D_{nc1} = D_n \cdot a\% \quad (54)$$

$$D_{nc2} = D_n \cdot b\% \quad (55)$$

$$a + b \leq 100\% \quad (56)$$

## 5. Analyse der Eignung der Lösungsalgorithmen

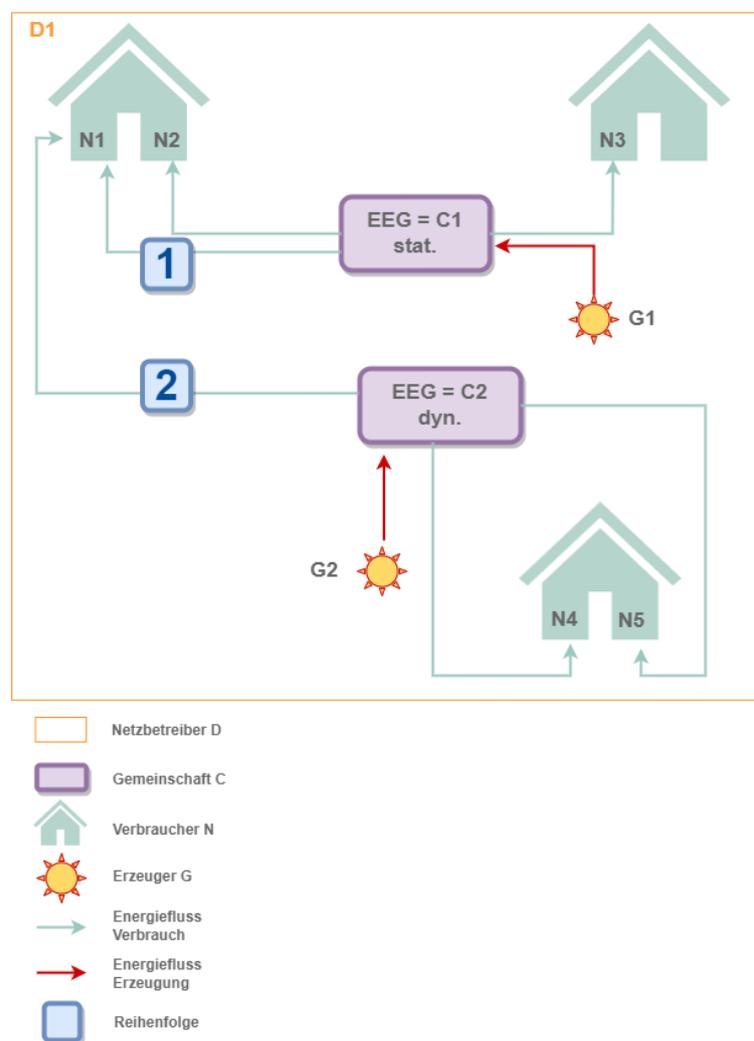
Die Ergebnisse der Simulationen unter Anwendung der vier Lösungsalgorithmen werden im folgenden Kapitel analysiert. Zuerst wurde aus der in Kapitel 2 beschriebenen Formulierung ein MATLAB-Modell entwickelt, um die entwickelten mathematischen Modelle zur Darstellung der Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften auch numerisch zu evaluieren und validieren. Um das Modell zu testen, wurde ein Basisbeispiel erstellt, dessen Aufbau in Abbildung 4 zu sehen ist. Als Beispiel Lösungsalgorithmus wurde das hierarchische System verwendet. Dementsprechend werden zuerst in den GEAs, dann in den EEGs und als letztes in den BEGs die Energie verteilt und die Ergebnisse an die für den Verbraucher bzw. Erzeuger jeweils nächste Gemeinschaft weitergegeben. Die Daten-Ein- bzw. Ausgabe für das Modell erfolgt anhand vorgefertigter Excel-Files. Nachdem das Basisbeispiel gezeigt hat, dass das Modell funktioniert, wurden damit die vier Lösungsalgorithmen für die verschiedenen Fälle und Szenarien angewendet.



**Fig. 4:** Schematische Darstellung des Basisbeispiels

## 5.1. Analyse von keiner fixen Priorisierung

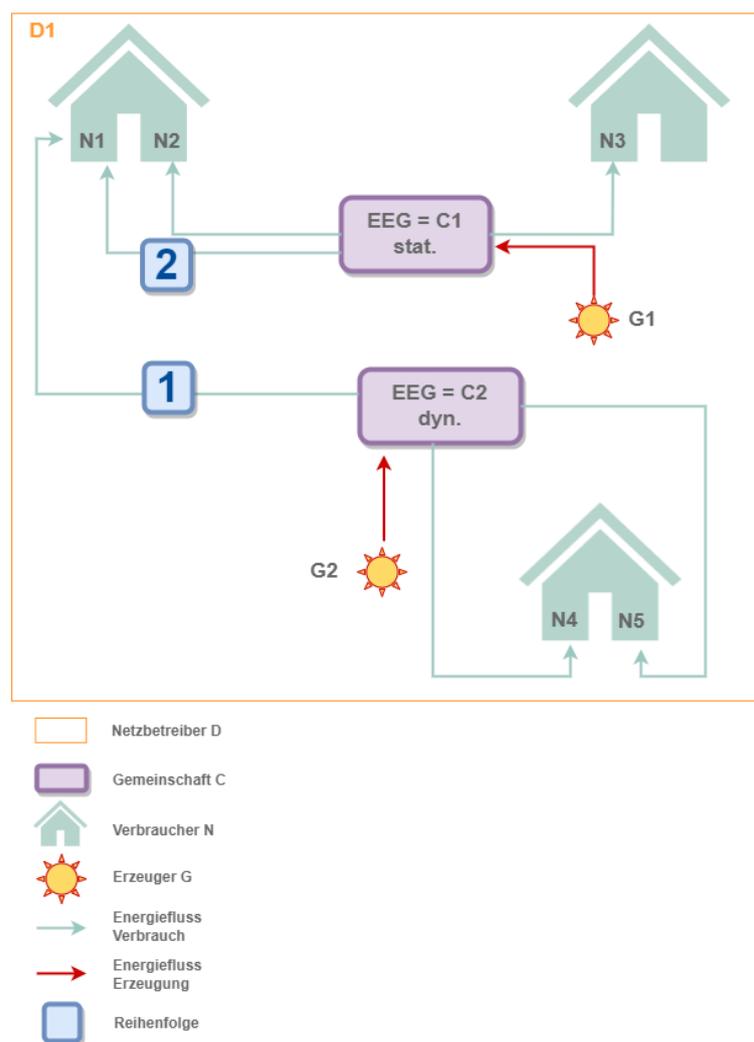
Die Energiezuteilung ist für alle Fälle mit diesem Lösungsansatz möglich. Die Reihenfolge in der die Gemeinschaften abgearbeitet werden hat aber einen großen qualitativen Einfluss auf das Ergebnis. Eine andere Reihenfolge wird in den meisten Fällen ein anderes Ergebnis zur Folge haben. Das macht diesen Lösungsansatz nicht nachvollziehbar für die Kund:innen.



**Fig. 5:** Schematische Darstellung von Fall 1 Szenario B mit der ersten möglichen Reihenfolge für den Lösungsansatz ohne fixer Priorisierung

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_n$	kW	69	29	20	9	16	-	-
$P_g$	kW	-	-	-	-	-	98	77
$Share_{c1}^{st\%}$	%	40	30	20	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	39,2	29,4	19,6	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	39,2	29	19,6	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	41,9	-	-	12,6	22,5	-	-
$Sc_{c2}$	kW	29,8	-	-	9	16	-	-
$R_s$	kW	0	0	0,4	0	0	-	-

**TABLE 1:** RESULTATE FÜR FALL 1 SZENARIO B ERSTE MÖGLICHE REIHENFOLGE MIT LÖSUNGSANSATZ OHNE FIXE PRIORISIERUNG



**Fig. 6:** Schematische Darstellung von Fall 1 Szenario B mit der zweiten möglichen Reihenfolge für den Lösungsansatz ohne fixer Priorisierung

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_n$	kW	69	29	20	9	16	-	-
$P_g$	kW	-	-	-	-	-	98	77
$Share_{c2}^{kW}$	kW	56,5	-	-	7,3	13,1	-	-
$Sc_{c2}$	kW	56,5	-	-	7,3	13,1	-	-
$Share_{c1}^{st\%}$	%	40	30	20	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	39,2	29,4	19,6	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	12,5	29	19,6	-	-	-	-
$R_s$	kW	0	0	0,4	1,6	2,9	-	-

**TABLE 2:** RESULTATE FÜR FALL 1 SZENARIO B ZWEITE MÖGLICHE REIHENFOLGE MIT LÖSUNGSANSATZ OHNE FIXE PRIORISIERUNG

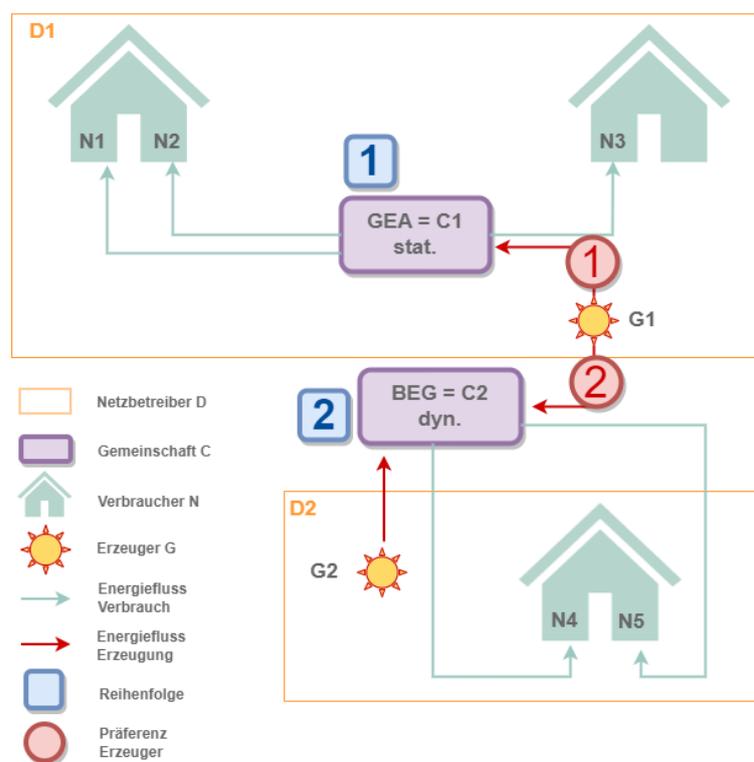
In Fall 1, Szenario B, könnte zum Beispiel, da die Abarbeitungsreihenfolge der Gemeinschaften in diesem Lösungsalgorithmus zufällig ist, entweder  $C_1$  oder  $C_2$  zuerst berechnet werden. Abbildung 5 mit Tabelle 1 und Abbildung 6 mit Tabelle 2 zeigen diese beiden Optionen und ihre Ergebnisse für einen einzelnen Zeitschritt. Betrachtet man, wie viel Energie die Verbraucher noch vom Lieferanten kaufen müssen ( $R_s$ ), so wird deutlich, dass die Reihenfolge der Gemeinschaftsberechnung eine Rolle spielt. Für die Verbraucher  $N_1$ ,  $N_2$  und  $N_3$  macht es keinen Unterschied, welche Energiegemeinschaft ihre Energie zuerst verteilt. Für die Verbraucher  $N_4$  und  $N_5$  hingegen entscheidet die Reihenfolge darüber, ob sie

noch Energie von Lieferanten außerhalb der Gemeinschaft kaufen müssen. Hier würde ein zufälliger Nachteil entstehen, was für die beiden Verbraucher weder nachvollziehbar noch fair ist. Weiters ist dieser Lösungsalgorithmus wegen der zufälligen Reihenfolge nicht prognosefähig.

## 5.2. Analyse von der fixen Priorisierung

Solange nur eine Entität in der Gemeinschaft eine Mehrfachteilnahme hat (Fälle 1 bis 4), ist es mathematisch möglich die Energie in allen Gemeinschaften sequenziell mit einer fixen Priorisierung aufzuteilen. Nachdem in der ersten Gemeinschaft die Energie verteilt wurde, werden im Fall von einer Verbraucher-Mehrfachteilnahme der Restnetzbezug und im Fall einer Erzeuger-Mehrfachteilnahme der Überschuss an die nächste Gemeinschaft weitergegeben. Danach wird die Energie in der zweiten Gemeinschaft verteilt, die dann die Information wieder zur nächsten Gemeinschaft oder zum Lieferanten weitergibt. Dies ist mit jeder Priorisierung möglich.

Ein gutes Beispiel hierfür ist Fall 3 Szenario A:

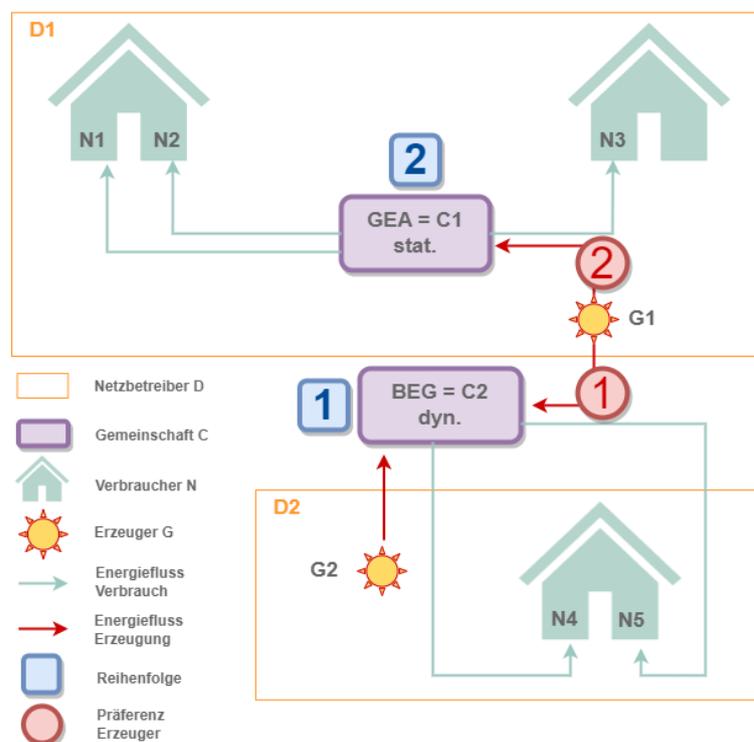


**Fig. 7:** Schematische Darstellung von Fall 3 Szenario A mit der ersten möglichen fixierten Priorisierung

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_n$	kW	40	29	19	26	13	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	55	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	5,5	82
$Share_{c1}^{sr\%}$	%	40	30	20	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	22	16,5	11	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	22	16,5	11	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	-	-	58,3	29,2	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	-	-	26	13	-	-
$R_s$	kW	18	12,5	8	0	0	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	3	45,5

**TABLE 3:** RESULTATE FÜR FALL 3 SZENARIO A MIT DER ERSTEN MÖGLICHEN FIXIERTEN PRIORISIERUNG

In diesem Fall ist ein Erzeuger  $G_1$  sowohl an einer GEA ( $C_1$ ) als auch an einer BEG ( $C_2$ ) beteiligt. In diesem Lösungsalgorithmus wählt der Erzeuger aus, welcher Gemeinschaft er den Vorrang gibt.  $C_1$  steht an erster Stelle, wie in Abbildung 7 und Tabelle 3 dargestellt, oder  $C_2$  steht an erster Stelle, wie in Abbildung 8 und Tabelle 4 dargestellt. Da bei der Energieverteilung der Gemeinschaft mit der niedrigeren Priorität nur die überschüssige Energie verwendet wird, können beide Fälle problemlos berechnet werden. Da die Reihenfolge feststeht und vom Erzeuger gewählt wird, sind die Ergebnisse für die Teilnehmenden dennoch einfach zu verstehen.



**Fig. 8:** Schematische Darstellung von Fall 3 Szenario A mit der zweiten möglichen fixierten Priorisierung

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_n$	kW	40	29	19	26	13	-	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	55	82
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	39,3	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	-	-	91,3	46,7	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	-	-	26	13	-	-
$Share_{c1}^{sr\%}$	%	40	30	20	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	15,7	11,8	7,9	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	15,7	11,8	7,9	-	-	-	-
$R_s$	kW	24,3	17,2	11,1	0	0	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	0	58,7

**TABLE 4:** RESULTATE FÜR FALL 3 SZENARIO A MIT DER ZWEITEN MÖGLICHEN FIXIERTEN PRIORISIERUNG

Ab Fall 5 kann es, aber schon zu Problemen kommen. Zum Beispiel die Komplikation in Abbildung 9: Erzeuger  $G_1$  priorisiert die Gemeinschaft  $C_1$ , aber Verbraucher  $N_1$  die Gemeinschaft  $C_2$ . Hier ist es egal welche Gemeinschaft zuerst abgearbeitet wird. Entweder fehlt der Verbrauch von  $N_1$  oder die Erzeugung von  $G_1$ , um den Prozess beenden zu können. Bei diesem Lösungsalgorithmus macht es keinen Unterschied, ob es sich um Szenario A oder B handelt. Weiters ist dieser Lösungsalgorithmus wegen der Abhängigkeiten von Verbrauch/Produktion in anderen Gemeinschaften nicht prognosefähig.

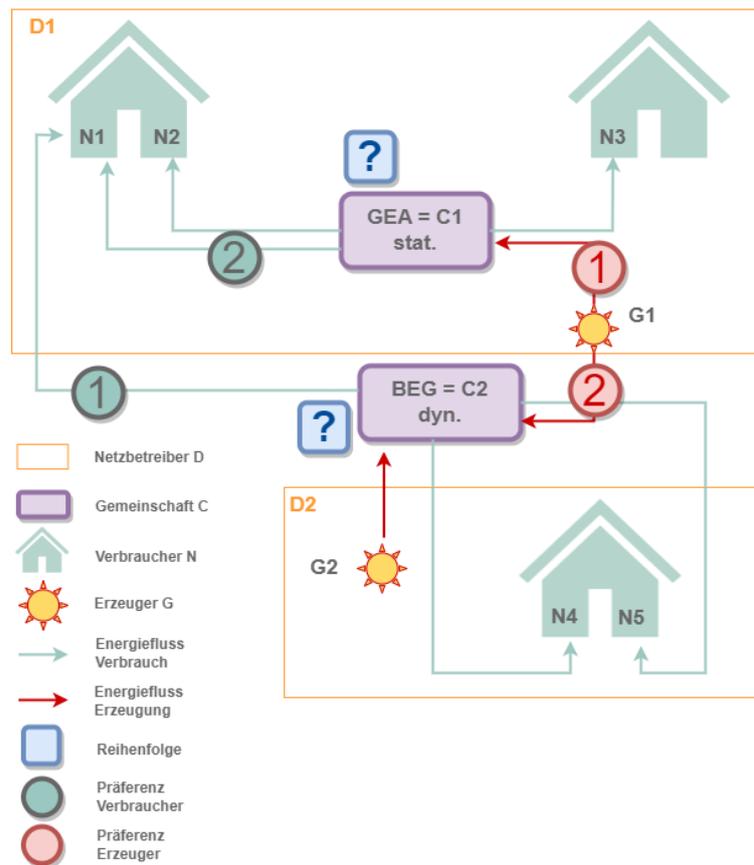
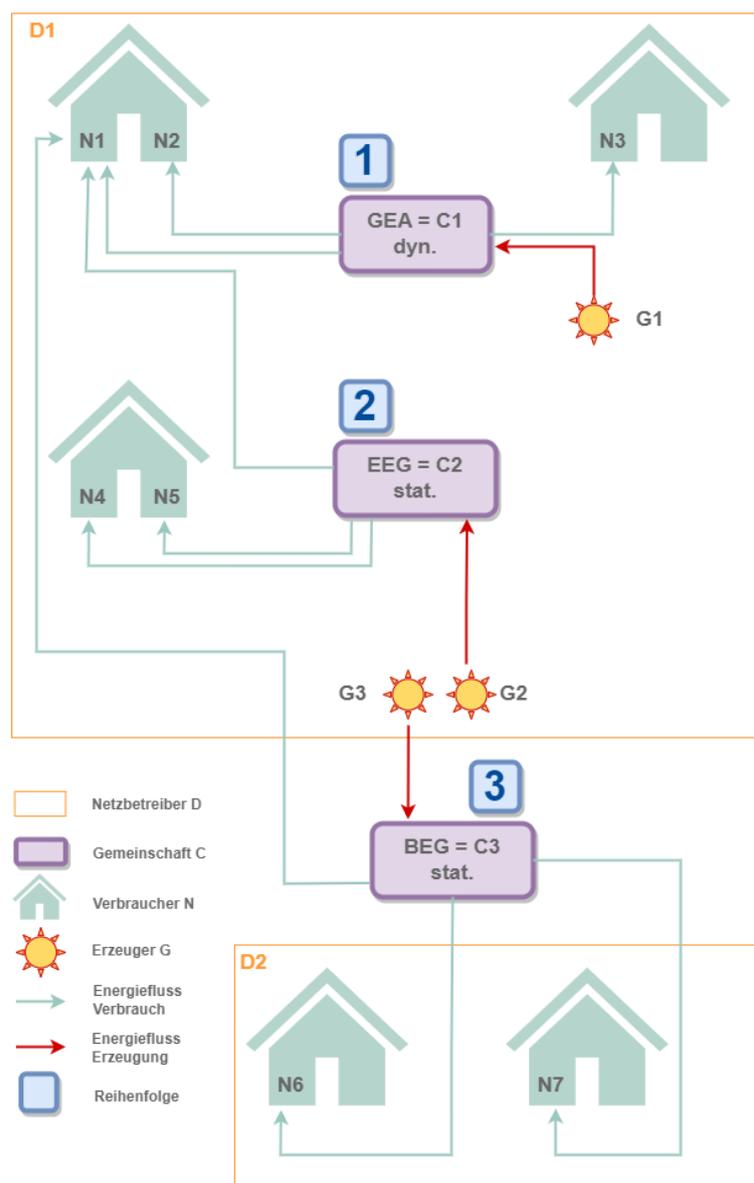


Fig. 9: Schematische Darstellung von Fall 5 Szenario A mit fixen Prioritäten

### 5.3. Analyse vom hierarchischen System

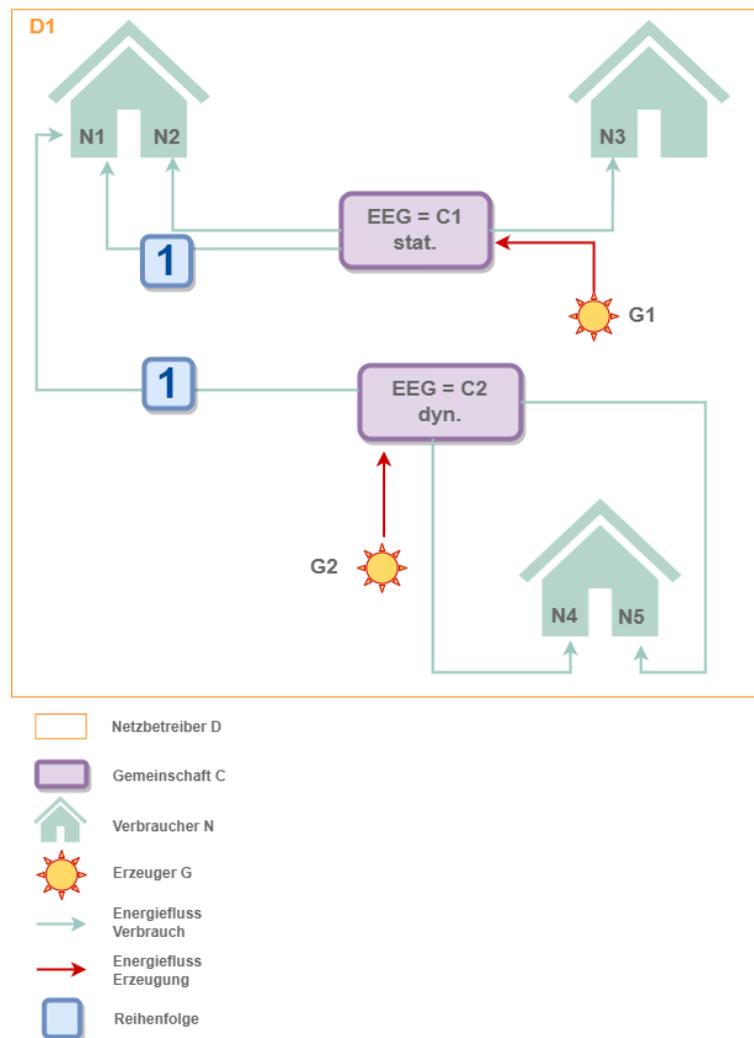
In Fällen 1-6, mit Szenario A gibt es mit diesem Lösungsansatz keine Probleme. Der hierarchische Aufbau sorgt dafür, dass alle Abhängigkeiten erfüllt sind. Um zu erklären warum, kann Fall 2 Szenario A als Beispiel verwendet werden, deren schematischer Aufbau in Abbildung 10 und die dazugehörigen Resultate in Tabelle 5 zu sehen sind. Der Verbraucher  $N_1$  ist an drei Energiegemeinschaften beteiligt. Die Reihenfolge der Gemeinschaften hier ist klar, wenn man das hierarchische System als Lösungsalgorithmus verwendet.  $C_1$  wird zuerst berechnet, weil es eine GEA ist, dann  $C_2$ , weil es eine EEG ist, und schließlich  $C_3$ , weil es eine BEG ist.  $C_1$  beginnt mit dem vollen Bedarf  $D_n$  des Verbrauchers  $N_1$  und verteilt die von  $G_1$  erzeugte Energie. Die Energie, die  $N_1$  noch fehlt, wird nun bei der Energieverteilung in  $C_2$  berücksichtigt. In diesem Beispiel ist der Bedarf des Verbrauchers  $N_1$  nach Energiezuteilung in der zweiten Gemeinschaft immer noch nicht gedeckt, so dass der Rest durch  $C_3$  erfüllt wird. Die Teilnehmenden kennen die hierarchische Ordnung, weil sie dem Rabatt ähnelt, den die Verbraucher auf die Netztarife erhalten (die größte Kürzung für GEAs).



**Fig. 10:** Schematische Darstellung von Fall 2 Szenario A mit hierarchischen System

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	51	18	16	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	15,6	-	-	4	24	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	7,1	-	-	-	-	57	26	-	-	-
$P_g$	kW	-	-	-	-	-	-	-	59	85	54
$Share_{c1}^{kW}$	kW	35,4	12,5	11,1	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	35,4	12,5	11,1	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	-	-	20	40	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	8,5	-	-	17	34	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	8,5	-	-	4	24	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{st\%}$	%	40	-	-	-	-	30	20	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	7,1	-	-	-	-	16,2	10,8	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	7,1	-	-	-	-	16,2	10,8	-	-	-
$R_s$	kW	0	5,5	4,9	0	0	40,8	15,2	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	0	48,5	14,5

**TABLE 5:** RESULTATE FÜR FALL 2 SZENARIO A MIT HIERARCHISCHEN SYSTEM



**Fig. 11:** Schematische Darstellung von Fall 1 Szenario B mit hierarchischen System

Das gilt, aber nur solange keine Entität in zwei gleichartigen Gemeinschaften teilnimmt. Für das Szenario B ist schon der erste Fall, welcher in Abbildung 11 dargestellt ist, nicht berechenbar. Man steht vor dem Problem, dass der Algorithmus nicht weiß, in welcher Gemeinschaft die Energie zuerst verteilt werden soll, weil, durch den Verbrauch von Verbraucher 1, beide gleichzeitig voneinander abhängig sind. Dieser Lösungsansatz müsste angepasst und mit einem zweiten Lösungsalgorithmus gekoppelt werden. Dies ist aber nicht zu empfehlen, weil der Ansatz noch komplexer und damit weniger nachvollziehbar für Kund:innen wird. Weiters ist dieser Lösungsalgorithmus wegen der Abhängigkeiten von Verbrauch/Produktion in anderen Gemeinschaften nicht prognosefähig.

#### 5.4. Analyse von verteiltem Verbrauch/verteilter Produktion

Dank des Vorverarbeitungsschritts dieses Lösungsalgorithmuses, ist es möglich Fälle 1-6 mit beiden Szenarien abzurechnen. Nachdem die Entscheidung wie viel Prozent der Energie zu/von jeder Gemeinschaft kommt von den Kund:innen selbst und im Vorhinein getroffen wird, ist dieser Ansatz auch äußerst nachvollziehbar. Für diesen Lösungsalgorithmus kann Fall 4, Szenario B, als Beispiel verwendet werden. Wie in Abbildung 12 dargestellt, ist der Produzent  $G_2$  an drei BEGs beteiligt. Er entscheidet im Voraus, dass  $C_1$  30%,  $C_2$  20% und  $C_3$  50% seiner Produktion erhalten soll. Nach der Multiplikation der Produktion mit diesem prozentualen Schlüssel erhält man  $P_{g2,c1}$ ,  $P_{g2,c2}$  und  $P_{g2,c3}$ , wie in Tabelle 6 dargestellt. Alle Eingangsparameter für jede Gemeinschaft sind nun bekannt, und sie können ihre eigene Energieverteilung berechnen. Zusätzlich ist dieser Lösungsalgorithmus prognosefähig durch die prozentuelle Vorverteilung von Verbrauch/Produktion. Die Sicht eines Verbrauchers für diesen Lösungsansatz

ist in Abbildung 13 zu sehen und das gleiche für die Sicht eines Erzeugers in Abbildung 14.

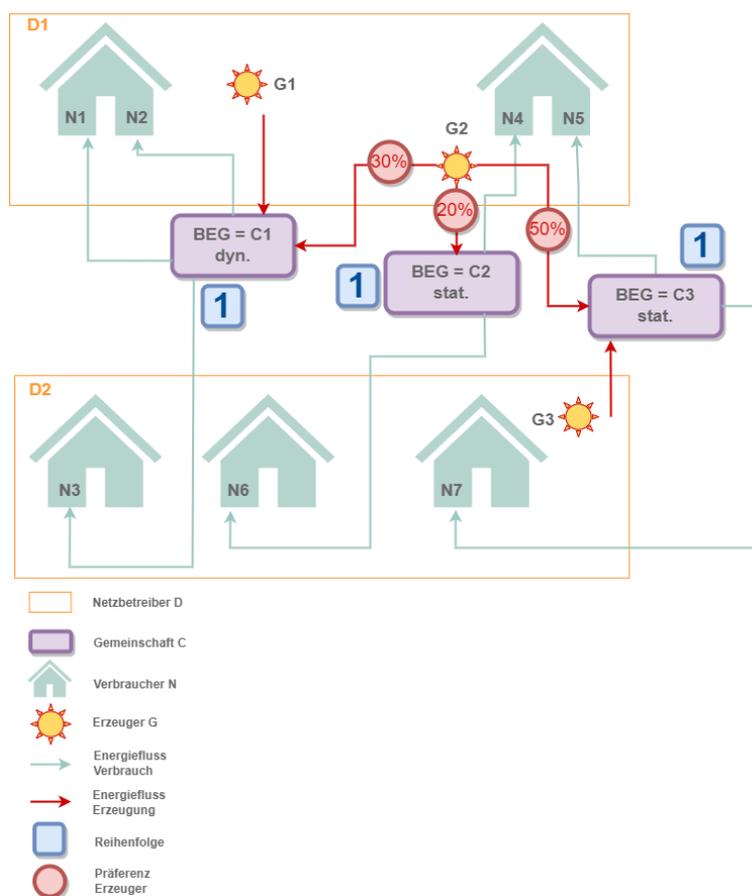


Fig. 12: Schematische Darstellung von Fall 4 Szenario B mit verteiltem Verbrauch

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	51	18	16	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	-	-	-	4	-	57	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	-	-	-	-	24	-	26	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	59	25,5	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	42,5	54
$Share_{c1}^{kW}$	kW	50,7	17,9	15,9	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	50,7	17,9	15,9	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	-	-	-	20	-	40	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	-	-	3,4	-	6,8	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	-	-	3,4	-	6,8	-	-	-	-
$Share_{c3}^{st\%}$	%	-	-	-	-	30	-	20	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	-	-	-	-	24	-	19,3	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	-	-	-	-	24	-	19,3	-	-	-
$R_s$	kW	0,3	0,1	0,1	0,6	0	50,2	6,7	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	0	2,2	2,8

TABLE 6: RESULTATE FÜR FALL 4 SZENARIO B MIT VERTEILTEM VERBRAUCH/VERTEILTER PRODUKTION

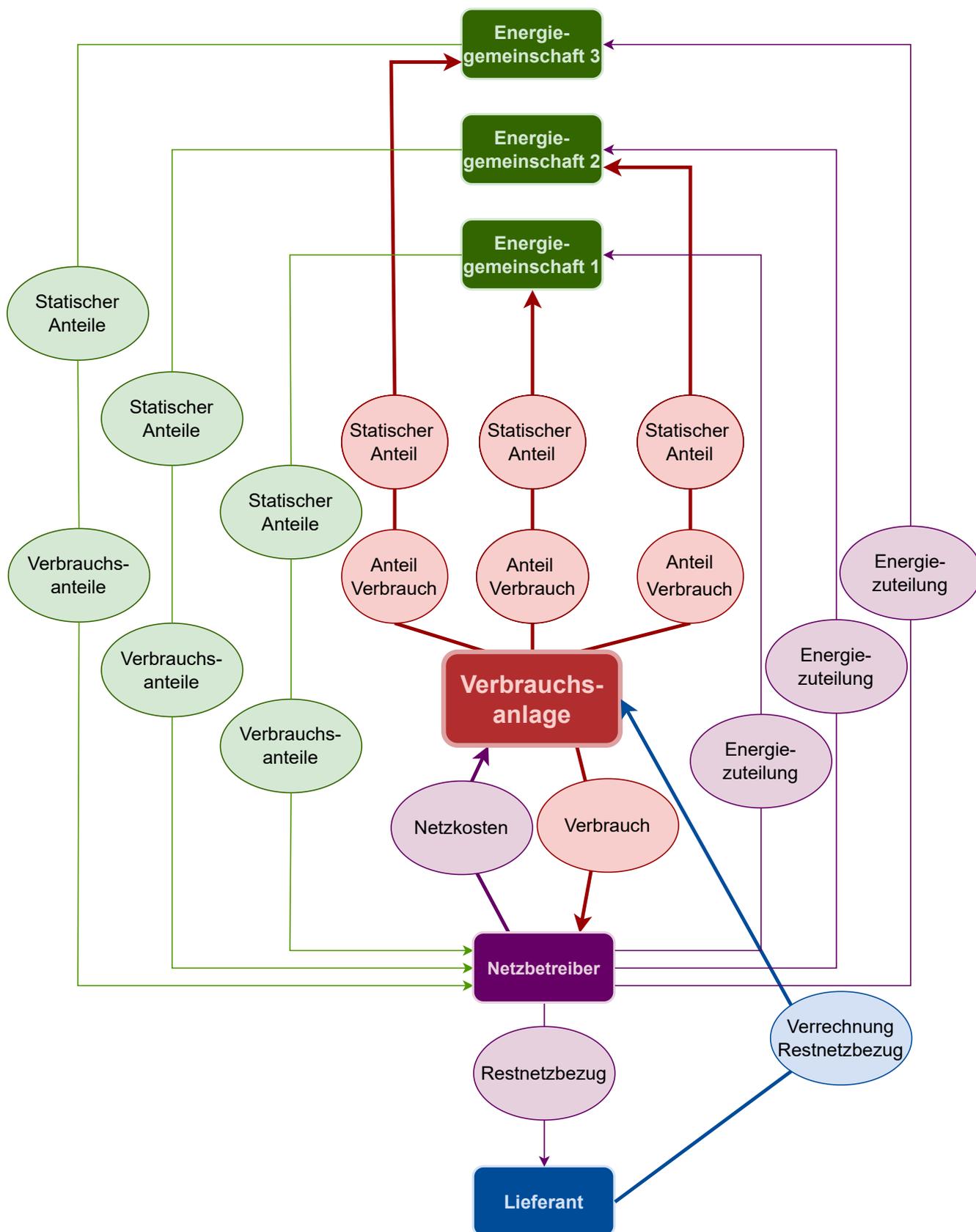
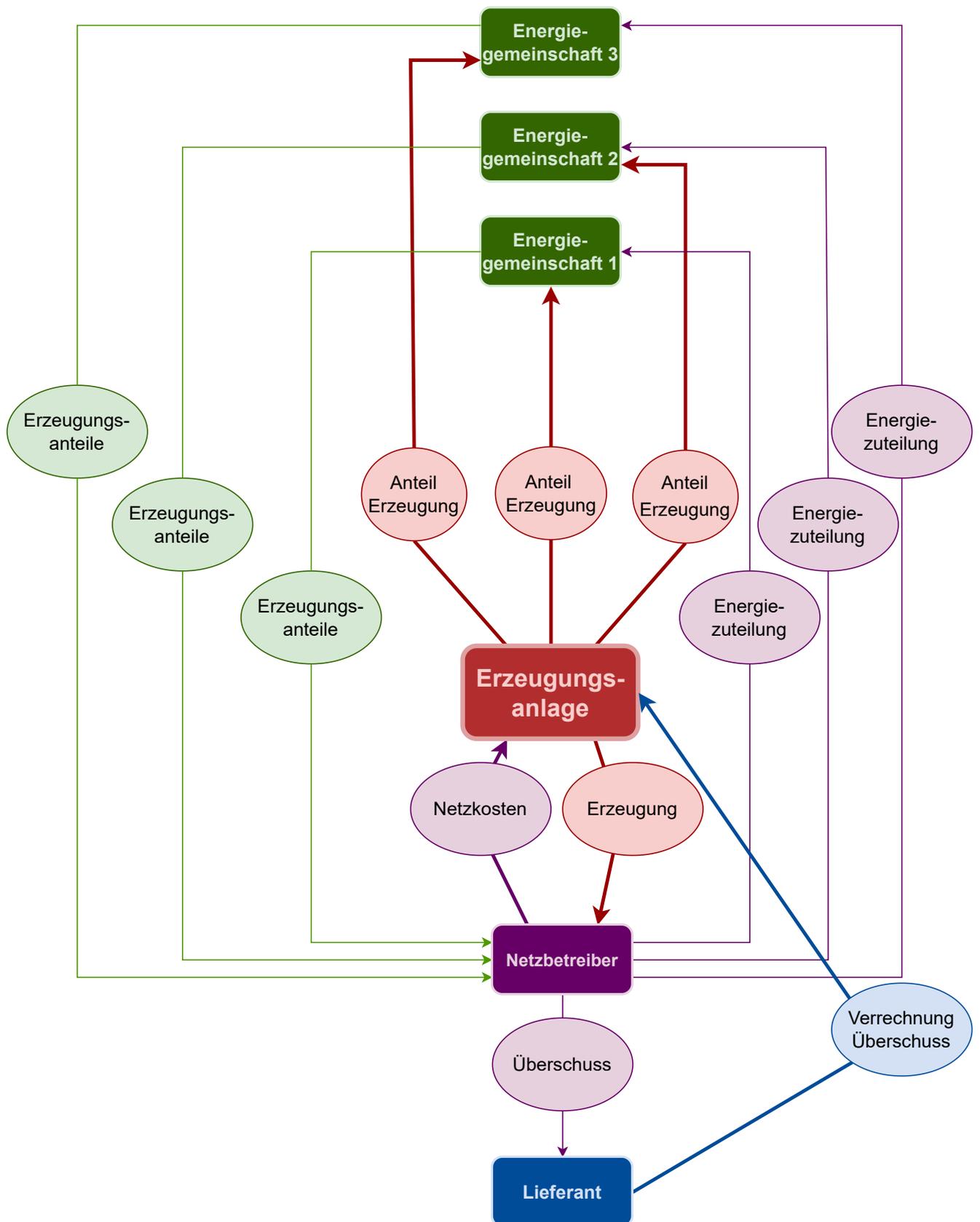


Fig. 13: Teilnehmendensicht Verbraucher für verteilten Verbrauch



**Fig. 14:** Teilnehmendensicht Erzeuger für verteilten Verbrauch

## 6. Fazit

Dieses Projekt hat gezeigt, dass die Umsetzung der Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften nur nach Erstellung eines bestimmten Regelwerks funktionieren wird. Die Energiezuweisung in den einzelnen Gemeinschaften muss noch immer technisch möglich sein. Sie darf auch ein gewisses Maß an Komplexität nicht überschreiten, damit eine zeitgerechte Abwicklung von Seiten der Netzbetreiber möglich ist. Und als letztes Kriterium muss die Verteilung der Energie für die Teilnehmenden der Gemeinschaft weiterhin nachvollziehbar sein. Als ein Bonus wird gesehen, wenn ein Lösungsalgorithmus auch prognosefähig ist.

Um einen geeigneten Lösungsalgorithmus für die Energieverteilung zu finden, wurde zuerst theoretisch der Ablauf der Energiezuteilung in den verschiedenen Gemeinschaftsarten formuliert und danach praktisch in ein Simulationstool umgesetzt. Als nächster Schritt mussten Fälle erarbeitet werden die später mit den Szenarios zum Testen verwendet werden sollten. Mit dieser Information wurden insgesamt 24 (12 Fälle x 2 Szenarios) Beispiel-Energiegemeinschaftsstrukturen konstruiert.

Um die Energiezuteilung in diesen auch berechnen zu können folgte anschließend der maßgebende Schritt der Formulierung von Lösungsalgorithmen. Das Ergebnis sind vier mögliche Lösungsansätze: Die erste Option ist es willkürlich mit einer Gemeinschaft anzufangen und dann nach und nach in einer zufälligen Reihenfolge abzurechnen. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass er für jeden Fall theoretisch möglich ist. Da aber die Reihenfolge Auswirkungen auf das Ergebnis hat ist dieser Algorithmus nicht nachvollziehbar. Weiters ist die Komplexität von der Anzahl der Gemeinschaften mit Mehrfachteilnahme abhängig, da dieser Lösungsansatz nur seriell ablaufen kann. Dadurch können zufällig Vor- und Nachteile für Kund:innen entstehen, was einen Vorwurf zu Ungleichbehandlung der Teilnehmenden zur Folge haben könnte.

Eine andere Möglichkeit ist es genau das Gegenteil zu tun, nämlich die Reihenfolge im Vorhinein schon genau vorzugeben. Hier ist es nicht nur für die Kund:innen nachvollziehbar wie die Energie aufgeteilt wird, sondern sie sind auch Teil der Entscheidung, indem sie selbst eine Priorisierung durchführen von den Gemeinschaften an denen sie teilnehmen. Der große Nachteil dieses Lösungsalgorithmus ist aber, dass er nicht funktioniert sobald zwei Teilnehmende genau die gegenteilige Priorisierung einer Gemeinschaft haben. Um das Problem zu lösen müsste man einen Teilnehmenden bevorzugen, was wiederum eine Ungleichbehandlung wäre. Die Komplexität ist wie beim ersten Lösungsansatz von der Anzahl der Gemeinschaften mit Mehrfachteilnahme abhängig.

Der netzdienliche Ansatz ist es durch die Reihenfolge einen Anreiz zu schaffen die erzeugte Energie möglichst lokal zu verbrauchen. Hier ist die Berechnungsreihenfolge durch die Energiegemeinschaftsart bestimmt, mit den GEAs zuerst, dann die EEGs und zum Schluss die BEGs. Dieser Lösungsalgorithmus ist weniger komplex als die ersten beiden braucht aber im schlimmsten Fall trotzdem 4 Schritte, nämlich wenn eine GEA, eine lokale und regionale EEG und eine BEG durch Mehrfachteilnahme voneinander abhängig sind. Diese Hierarchie ist Kund:innen schon von der Staffelung der Netzgebühren bekannt. Das eigentliche Problem ist, dass bei einer gleichzeitigen Teilnahme an gleichartigen Energiegemeinschaften wieder das Dilemma entsteht in welcher Gemeinschaft die Energie zuerst verteilt werden soll. Für die Implementierung dieses Ansatzes müsste eine Regel geschaffen werden die besagt, dass eine Mehrfachteilnahme nur an verschiedenartigen Gemeinschaften möglich ist. Die Nachvollziehbarkeit der Idee hinter diesem Ansatz ist leicht verständlich, aber in Falle einer notwendigen Sonderregel ist der genaue Prozess wieder weniger nachvollziehbar.

Der letzte Lösungsansatz, der verteilte Verbrauch, hat eine ähnliche Grundidee wie die fixierte Priorisierung. Hier wird, aber nicht die Reihenfolge festgelegt, sondern der Verbrauch bzw. die Erzeugung

im Vorhinein von den Teilnehmenden zwischen den Gemeinschaften mit Hilfe von fixierten prozentualen Anteilen aufgeteilt. Hierfür ist ein Vorverarbeitungsschritt bei der Berechnung der Energieanteile nötig, welcher die Komplexität auf 2 Schritte fixiert. Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes ist auch, dass die Entscheidung bei den Kund:innen liegt und der Lösungsalgorithmus sehr leicht nachzuvollziehen ist. Außerdem ist dies der einzige Lösungsansatz der prognosefähig ist durch die prozentuelle Vorverteilung von Verbrauch/Produktion.

Lösungsalgorithmus	Lösbarkeit	Komplexität	Nachvollziehbarkeit	Fairness	Prognosefähigkeit
Keine Fixe Priorisierung	Immer	# der Gemeinschaften mit Mehrfachteilnahme Schritte	Nein	Nein	Nein
Fixe Priorisierung	In gewissen Fällen nur mit extra Regel	# der Gemeinschaften mit Mehrfachteilnahme Schritte	Ja	Ja, in gewissen Fällen nur wegen extra Regel nein	Nein
Hierarchisches System	In gewissen Fällen nur mit extra Regel	≤4 Schritte	Genauer Prozess: Nein Idee: Ja	Ja	Nein
Verteilter Verbrauch / Verteilte Produktion	Immer	2 Schritte	Ja	Ja	Ja

**Fig. 15:** Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Lösungsalgorithmen

Ein Überblick aller Vor- und Nachteile ist in Abbildung 15 zu sehen. Die Empfehlung die aus dieser Studie hervorgeht ist es den vierten Lösungsalgorithmus ‘Verteilter Verbrauch‘ in das juristische Regelwerk für die Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften als präferierten Ansatz aufzunehmen.

## 7. Nomenklatur

### 7.1. Indices

$k$	Startzeitpunkt
$n$	Verbraucher
$g$	Erzeugungseinheit
$r(g)$	Erneuerbare Erzeugungseinheit
$f(g)$	Fossile Erzeugungseinheit
$d$	Netzbetreiber
$gd(g, d)$	Erzeugungseinheit $g$ im Netzgebiet von Netzbetreiber $d$
$nd(n, d)$	Verbraucher $n$ im Netzgebiet von Netzbetreiber $d$
$c$	Energiegemeinschaft
$gc(g, c)$	Erzeugungseinheit $g$ in Energiegemeinschaft $c$
$nc(n, c)$	Verbraucher $n$ in Energiegemeinschaft $c$
$dc(d, c)$	Netzbetreiber $d$ in deren Netzgebiet sich Energiegemeinschaft $c$ befindet

### 7.2. Parameter

$P_c$	Produktion in kW
$p^{dis}$	Zugeordnete Produktion in kW
$D$	Verbrauch in kW
$Share^{kW}$	Anteil an Erzeugung in kW
$Share^{st\%}$	Statischer Anteil an Erzeugung in %
$Share^{\%}$	Dynamischer Anteil an Erzeugung in %
$R$	Restnetzbezug in kW
$Exe$	Überschuss in kW
$Sc$	Eigendeckung in kW
$ResShare$	Anteil an erneuerbarer Erzeugung in %

## 8. Abkürzungsverzeichnis

<i>GEA</i>	Gemeinschaftliche Erzeugungsanlage
<i>EEG</i>	Erneuerbare Energiegemeinschaft
<i>BEG</i>	Bürgerenergiegemeinschaft
<i>VEZ</i>	Verteilernetzübergreifender Energiezuweiser

## 9. Anhang

Zeitschritt	$P_{g1}$	$P_{g2}$	$P_{g3}$
	kW	kW	kW
1	98	77	56
2	74	63	55
3	73	52	50
4	72	57	54
5	95	85	60
6	66	81	67
7	70	100	57
8	55	82	64
9	75	65	56
10	62	76	52
11	63	80	51
12	62	60	52
13	83	82	60
14	82	83	51
15	89	74	52
16	69	75	64
17	85	94	53
18	57	75	67
19	59	85	54
20	96	66	65

**TABLE 7:** FIXE ERZEUGUNGSPROFILE

Zeitschritt	$D_{n1}$	$D_{n2}$	$D_{n3}$	$D_{n4}$	$D_{n5}$	$D_{n6}$	$D_{n7}$
	kW						
1	69	29	20	9	16	48	14
2	40	9	10	11	10	70	11
3	75	9	6	28	19	75	24
4	72	26	9	25	20	39	3
5	58	5	1	8	20	32	18
6	72	21	24	10	3	37	16
7	60	29	12	6	10	64	28
8	40	29	19	26	13	37	19
9	45	28	10	15	4	69	5
10	42	25	6	4	20	34	30
11	72	27	10	12	24	43	10
12	45	16	17	22	22	20	25
13	48	4	1	8	3	49	14
14	62	22	22	21	20	31	2
15	67	28	16	27	22	47	20
16	67	25	20	18	13	62	24
17	67	20	23	12	1	34	15
18	74	12	10	16	23	28	19
19	51	18	16	4	24	57	26
20	63	9	15	24	6	28	20

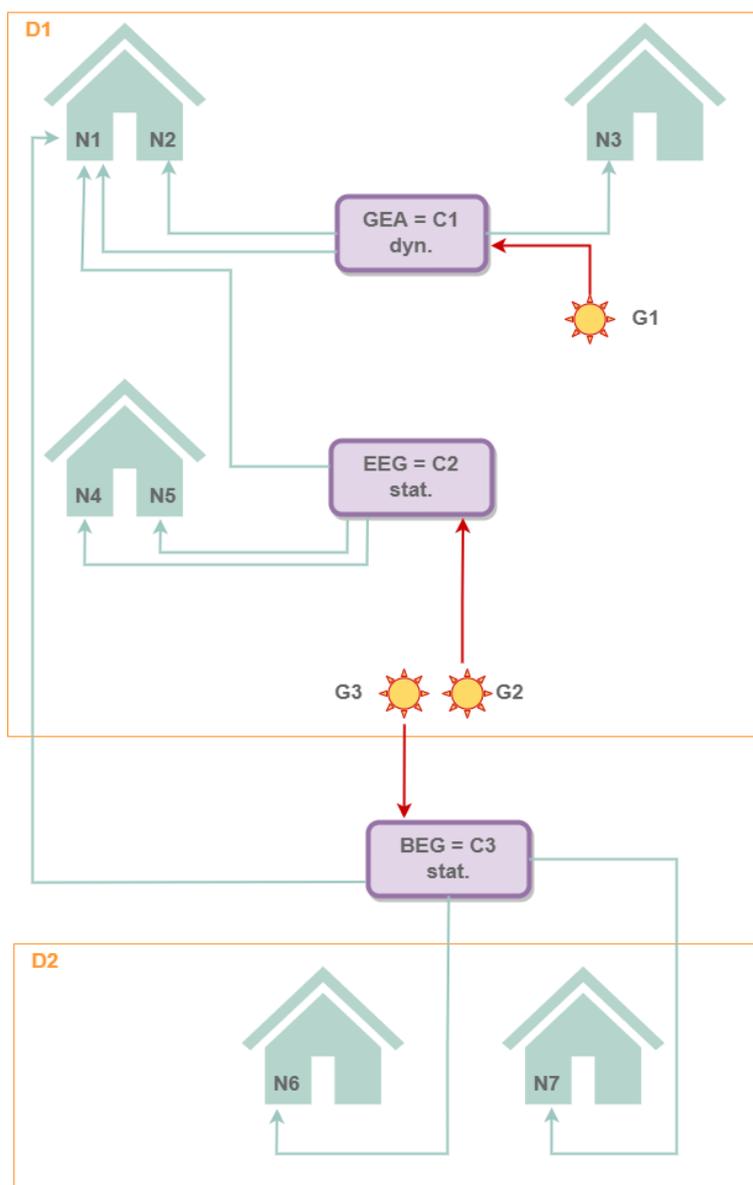
TABLE 8: FIXE VERBRAUCHSPROFILE

$D_{n1}$		$D_{n2}$		$D_{n3}$		$D_{n4}$		$D_{n5}$		$D_{n6}$		$D_{n7}$	
Min	Max												
kW	kW												
40	75	0	30	1	25	0	30	1	15	20	75	0	30

TABLE 9: ZUFÄLLIGE VERBRAUCHSPROFILE

$P_{g1}$		$P_{g2}$		$P_{g3}$	
Min	Max	Min	Max	Min	Max
kW	kW	kW	kW	kW	kW
50	100	50	70	50	70

TABLE 10: ZUFÄLLIGE ERZEUGUNGSPROFILE



**Fig. 16:** Schematische Darstellung von Fall 2 Szenario A

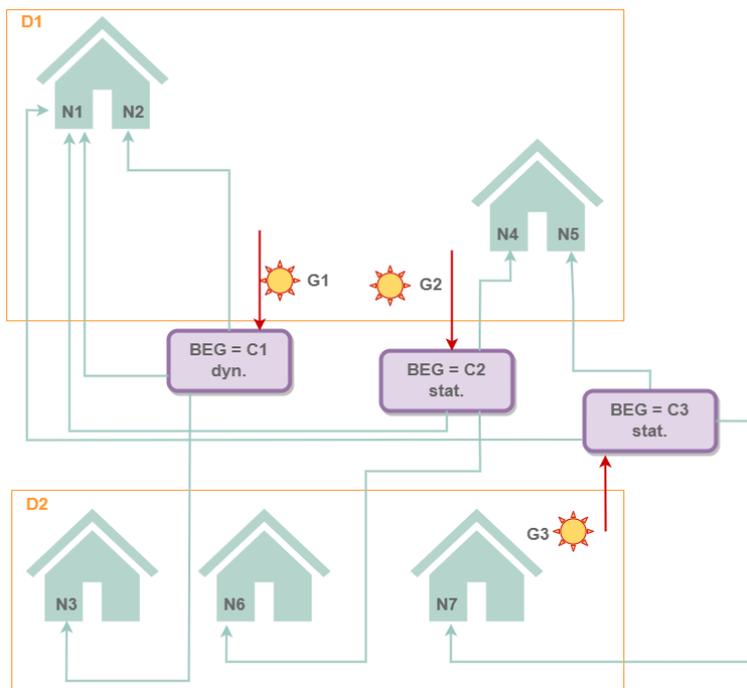


Fig. 17: Schematische Darstellung von Fall 2 Szenario B

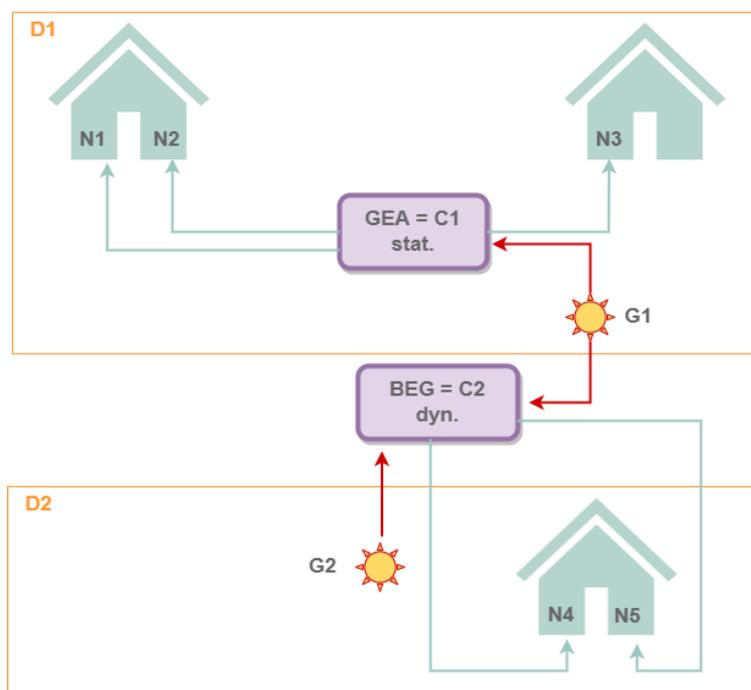


Fig. 18: Schematische Darstellung von Fall 3 Szenario A

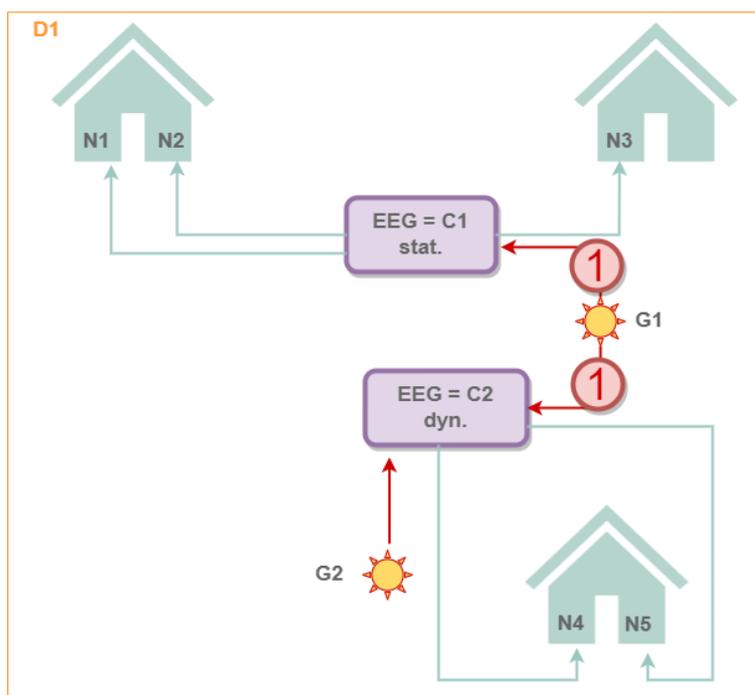


Fig. 19: Schematische Darstellung von Fall 3 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	-	26	9	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	72	-	-	25	20	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	-	-	-	-	-	39	3	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	36	-	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	36	34,2	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	22,8	54
$Share_{c1}^{str\%}$	%	-	60	40	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	-	21,6	14,4	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	-	21,6	9	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{str\%}$	%	10	-	-	20	40	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	7	-	-	14	28	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	7	-	-	14	20	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	-	-	-	-	-	71,3	5,5	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	-	-	-	-	-	39	3	-	-	-
$R_s$	kW	65	4,4	0	11	0	0	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	20,3	14,2	0

TABLE 11: RESULTATE FÜR FALL 7 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION

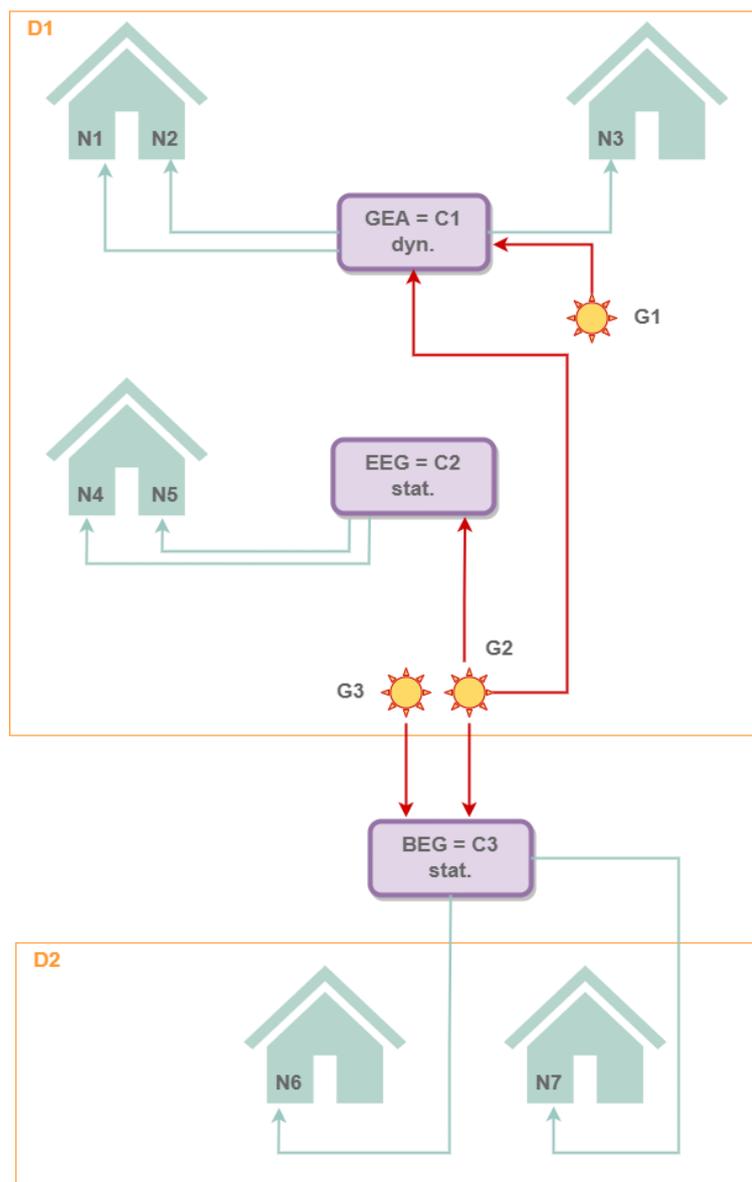


Fig. 20: Schematische Darstellung von Fall 4 Szenario A

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$G_1$	$G_2$
$D_{n,c1}$	kW	67	20	23	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	-	-	-	12	1	34	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	25,5	56,4
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	51	37,6
$Share_{c1}^{kW}$	kW	49,9	14,8	17,1	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	49,9	14,8	17,1	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	-	-	-	10	20	40	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	-	-	8,9	17,7	35,5	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	-	-	8,9	1	34	-	-
$R_s$	kW	17,1	5,1	5,9	3,1	0	0	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	25,8	19

TABLE 12: RESULTATE FÜR FALL 7 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION

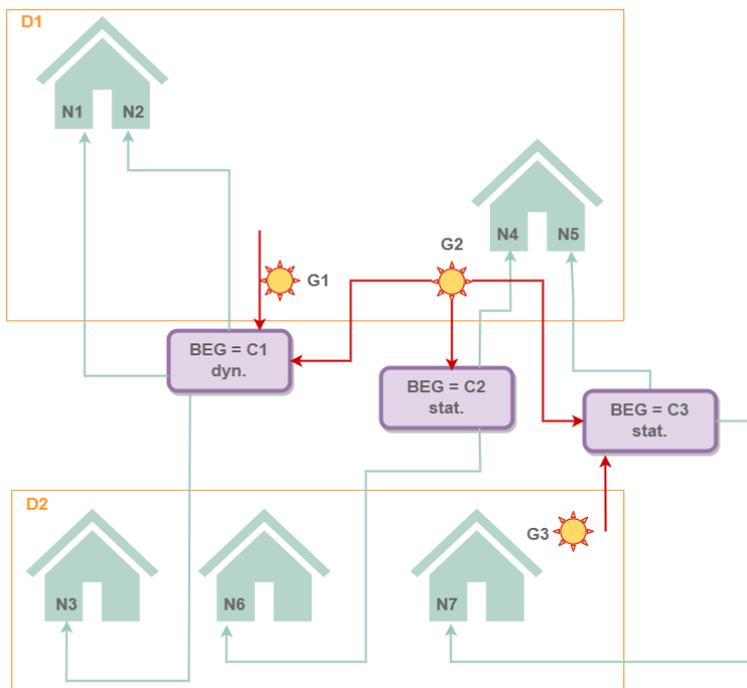


Fig. 21: Schematische Darstellung von Fall 4 Szenario B

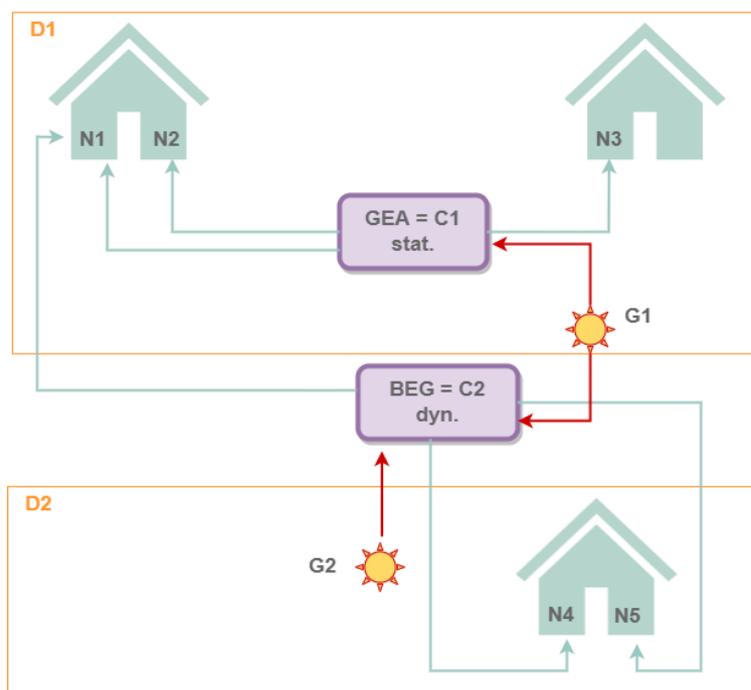
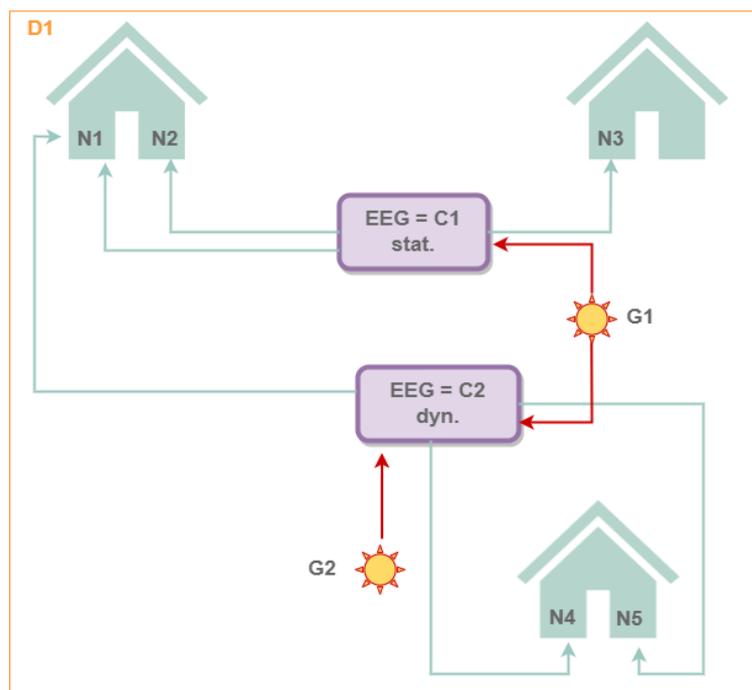


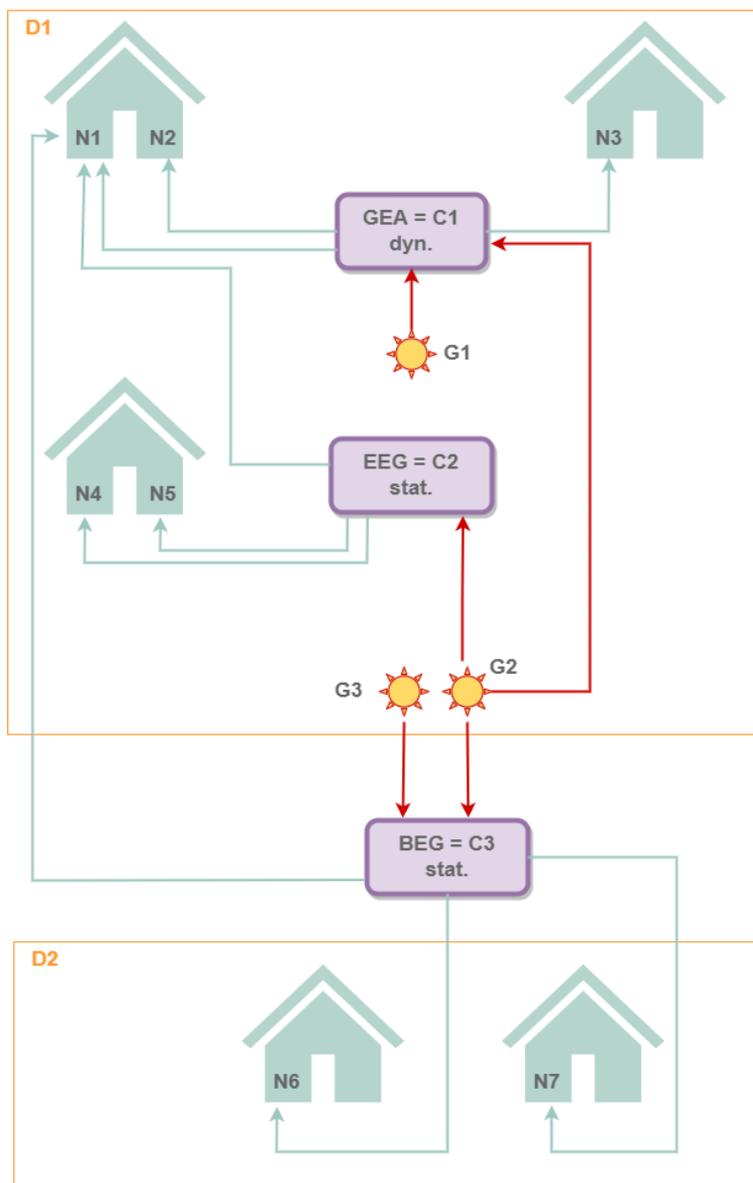
Fig. 22: Schematische Darstellung von Fall 5 Szenario A



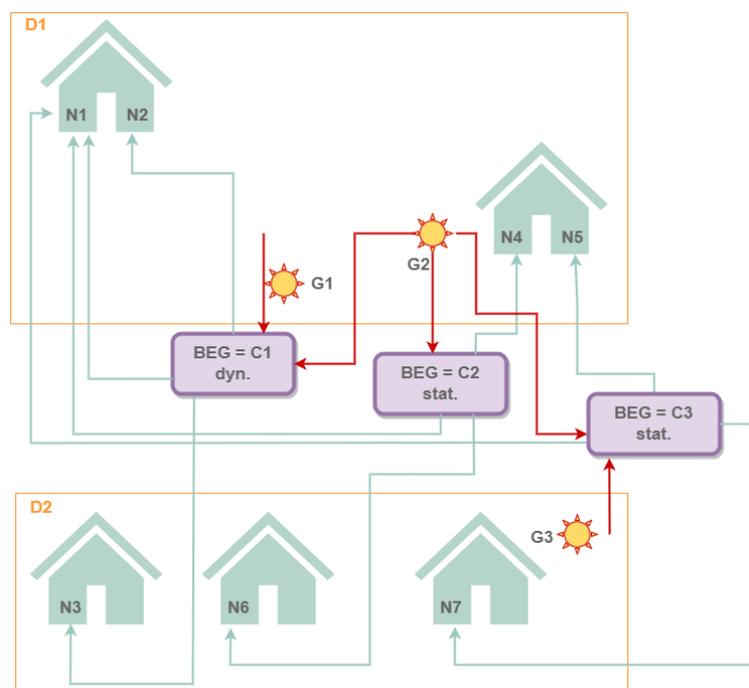
**Fig. 23:** Schematische Darstellung von Fall 5 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	58	-	-	8	20	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	-	-	-	-	-	32	18	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	28,5	17	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	28,5	42,5	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	38	25,5	60
$Share_{c1}^{st\%}$	%	-	60	40	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	-	27,3	18,2	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	-	-	20	40	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	7,1	-	-	14,2	28,4	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	7,1	-	-	8	20	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	-	-	-	-	-	74	44,5	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	-	-	-	-	-	32	18	-	-	-
$R_s$	kW	50,9	0	0	0	0	0	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	39,2	36,2	0

**TABLE 13:** RESULTATE FÜR FALL 8 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION



**Fig. 24:** Schematische Darstellung von Fall 6 Szenario A



**Fig. 25:** Schematische Darstellung von Fall 6 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	63	9	15	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	-	-	-	24	-	28	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	-	-	-	-	6	-	20	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	38,4	33	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	29	16,5	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	29	16,5	65
$Share_{c1}^{kW}$	kW	51,7	7,4	12,3	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	51,7	7,4	12,3	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	-	-	-	60	-	40	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	-	-	24	-	18,1	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	-	-	24	-	18,1	-	-	-	-
$Share_{c3}^{st\%}$	%	-	-	-	-	30	-	70	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	-	-	-	-	6	-	20	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	-	-	-	-	6	-	20	-	-	-
$R_s$	kW	11,3	1,6	2,7	0	0	9,9	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	14,3	8,2	0

**TABLE 14:** RESULTATE FÜR FALL 8 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION

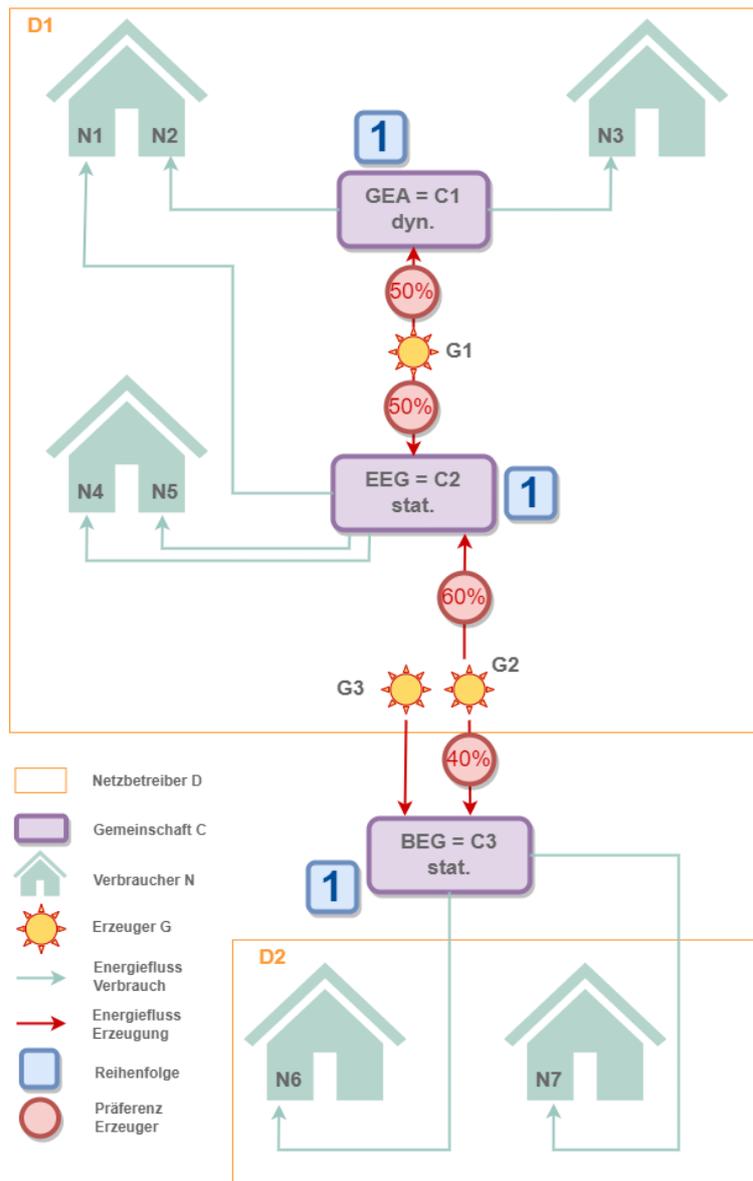


Fig. 26: Schematische Darstellung von Fall 7 Szenario A

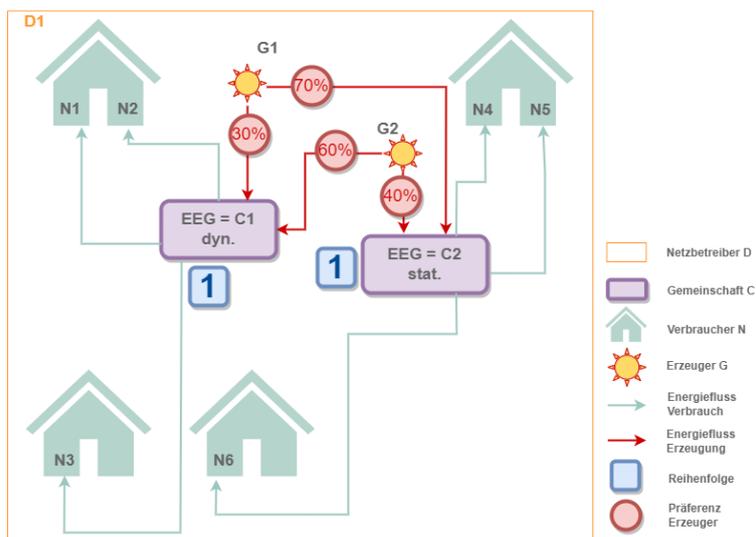
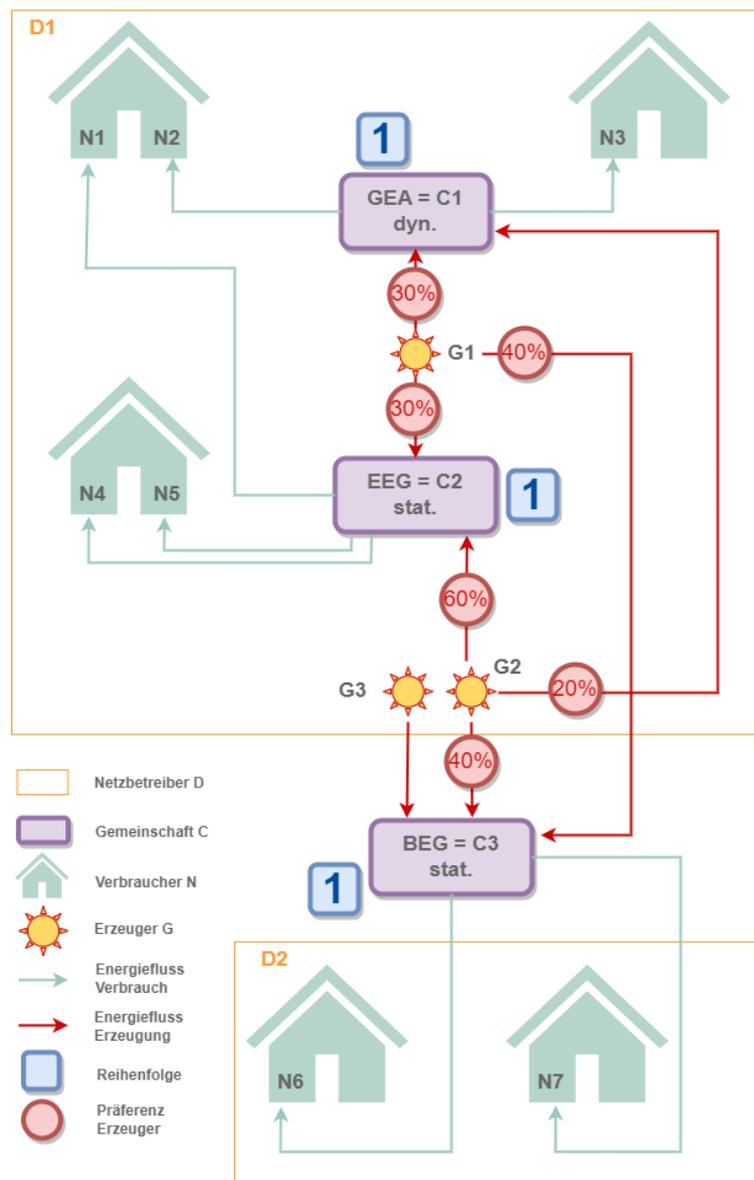


Fig. 27: Schematische Darstellung von Fall 7 Szenario B



**Fig. 28:** Schematische Darstellung von Fall 8 Szenario A

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_{n,c1}$	kW	48	14,5	12	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	12	14,5	-	6	10	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	70	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	100
$Share_{c1}^{st\%}$	%	30	40	30	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	21	28	21	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	21	14,5	12	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	20	-	30	10	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	10	20	-	30	10	-	-
$Sc_{c2}$	kW	10	14,5	-	6	10	-	-
$R_s$	kW	29	0	0	0	0	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	22,5	59,5

**TABLE 15:** RESULTATE FÜR FALL 9 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION

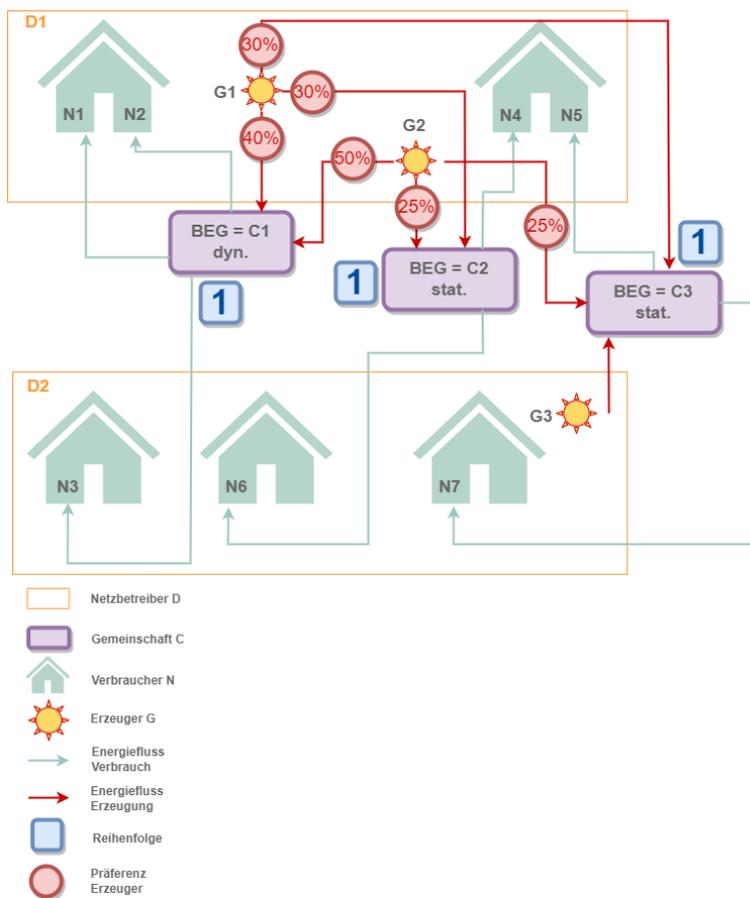


Fig. 29: Schematische Darstellung von Fall 8 Szenario B

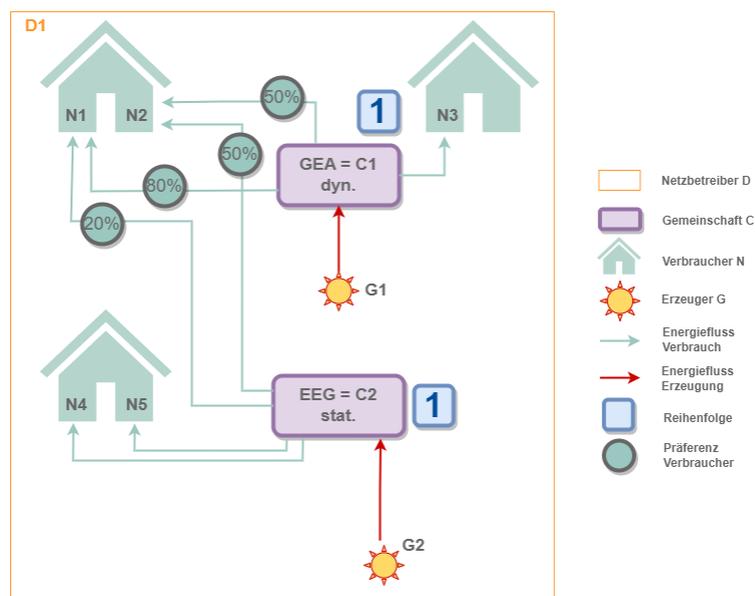


Fig. 30: Schematische Darstellung von Fall 9 Szenario A

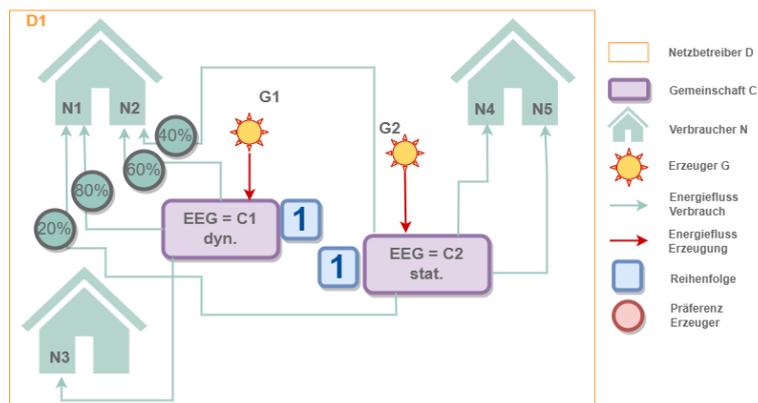


Fig. 31: Schematische Darstellung von Fall 9 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_{n,c1}$	kW	55,2	17,4	20	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	14	12	-	9	16	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	98	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	77
$Share_{c1}^{kW}$	kW	58,4	18,4	21,2	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	55,2	17,4	20	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	20	-	40	30	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	8	15	-	30,8	23,1	-	-
$Sc_{c2}$	kW	8	12	-	9	16	-	-
$R_s$	kW	6,1	0	0	0	0	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	5,4	32,7

TABLE 16: RESULTATE FÜR FALL 9 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	6,8	5,6	10	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	29,3	16,8	-	15	4	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	9	5,6	-	-	-	69	5	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56
$Share_{c1}^{st\%}$	%	30	40	30	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	22,5	30	23	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	6,8	5,6	10	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	20	-	30	10	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	6,5	13	-	19,5	6,5	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	6,5	13	-	15	4	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	5,7	3,5	-	-	-	43,6	3,2	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	5,7	3,5	-	-	-	43,6	3,2	-	-	-
$R_s$	kW	26,1	5,9	0	0	0	25,4	1,8	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	52,7	26,5	0

TABLE 17: RESULTATE FÜR FALL 10 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION

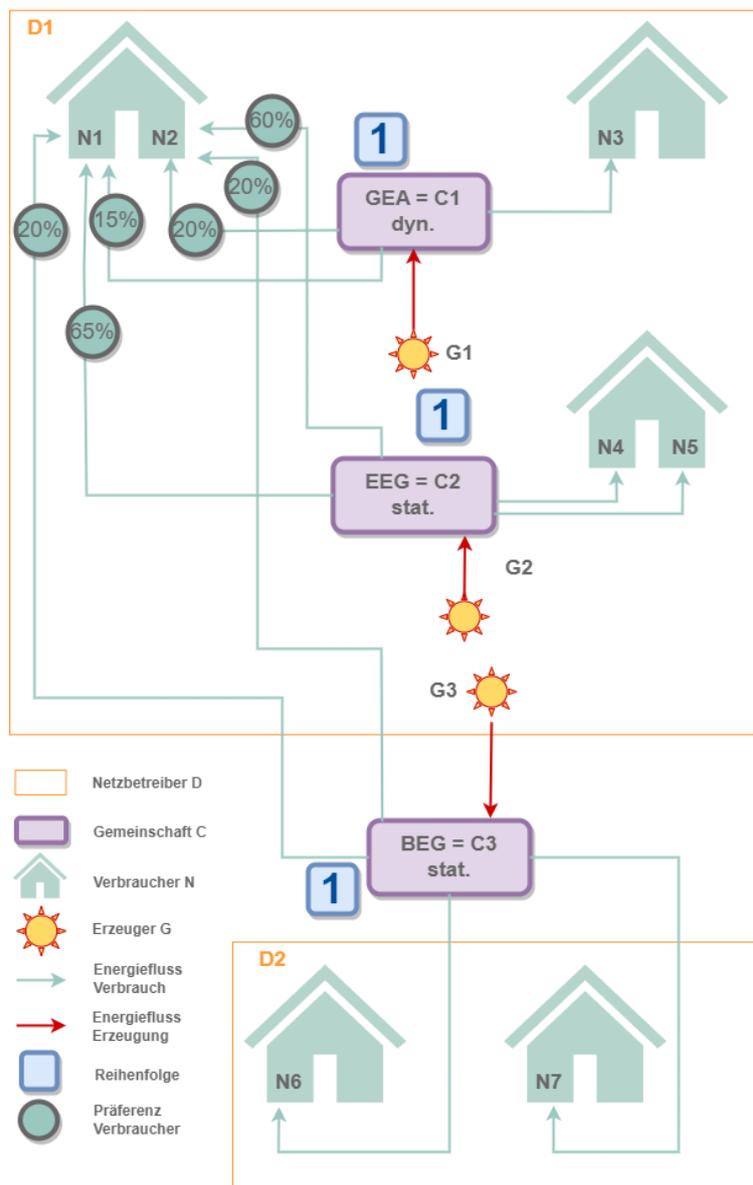
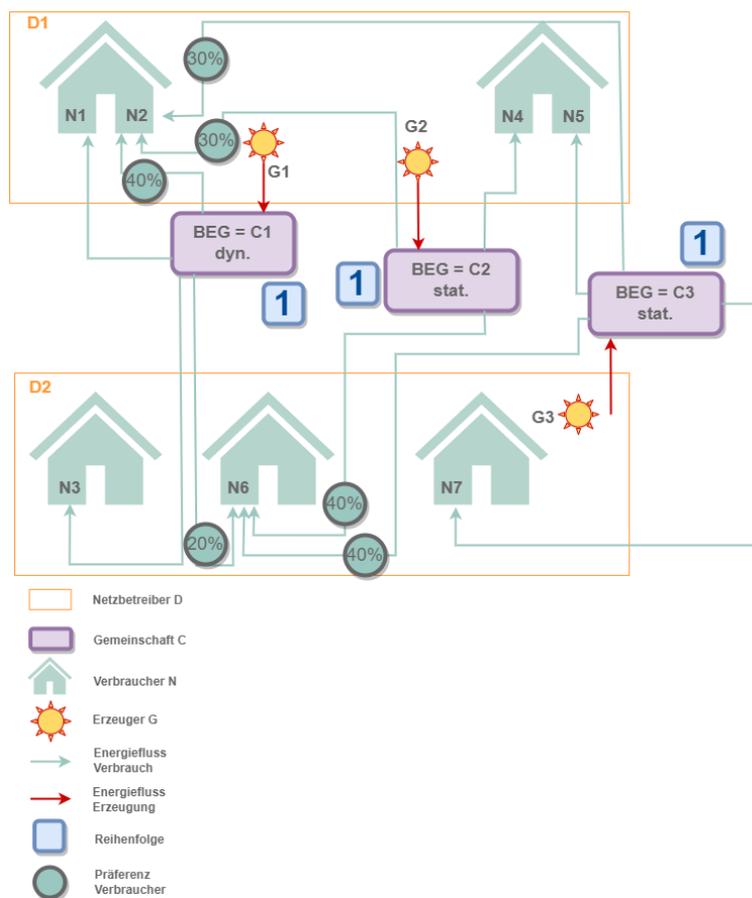


Fig. 32: Schematische Darstellung von Fall 10 Szenario A



**Fig. 33:** Schematische Darstellung von Fall 10 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	45	11,2	10	-	-	13,8	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	-	8,4	-	15	4	27,6	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	-	8,4	-	-	-	27,6	5	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56
$Share_{c1}^{kW}$	kW	42,2	10,5	9,3	-	-	12,9	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	42,2	10,5	9,3	-	-	12,9	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	-	30	-	40	15	15	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	9,7	-	12,9	4,8	9,8	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	8,4	-	12,9	4	9,8	-	-	-	-
$Share_{c3}^{st\%}$	%	-	30	-	-	-	40	30	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	-	8,4	-	-	-	18,6	14	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	-	8,4	-	-	-	18,6	5	-	-	-
$R_s$	kW	2,8	0,7	0,6	2,1	0	27,7	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	0	30	24

**TABLE 18:** RESULTATE FÜR FALL 10 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION

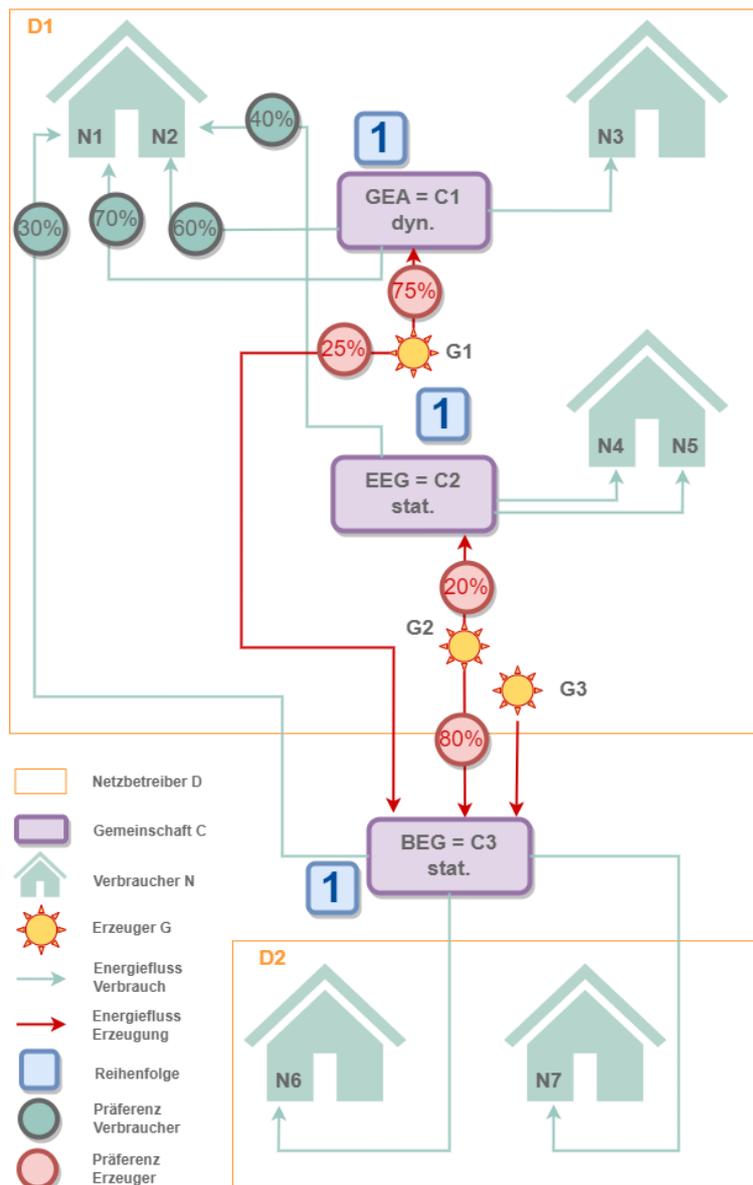


Fig. 34: Schematische Darstellung von Fall 11 Szenario A

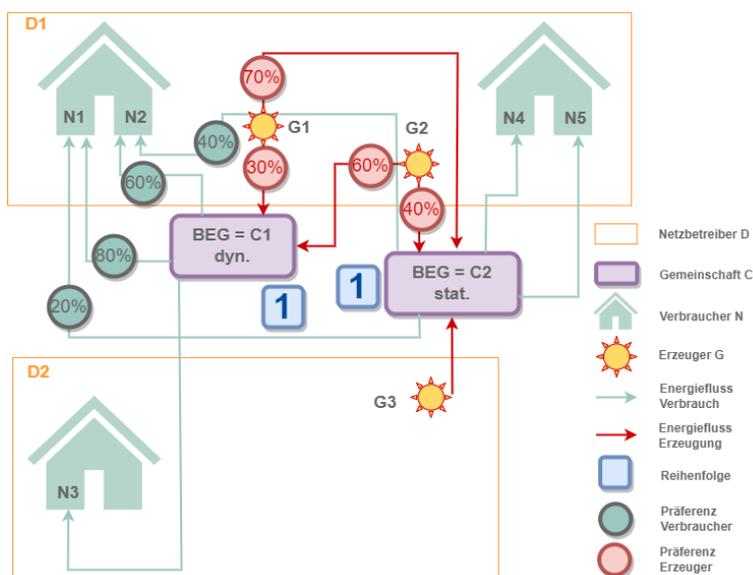


Fig. 35: Schematische Darstellung von Fall 11 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	33,6	2,4	1	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	-	1,6	-	8	3	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	14,4	-	-	-	-	49	14	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	62,3	-	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	16,4	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	20,8	65,6	60
$Share_{c1}^{st\%}$	%	30	40	30	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	18,7	24,9	18,7	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	18,7	2,4	1	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	-	20	-	30	40	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	-	3,3	-	4,9	6,6	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	-	1,6	-	4,9	3	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	27,2	-	-	-	-	92,7	26,5	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	14,4	-	-	-	-	49	14	-	-	-
$R_s$	kW	14,9	0	0	3,1	0	20	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	50	37,8	28,3

TABLE 19: RESULTATE FÜR FALL 11 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	38,4	2,4	1	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	9,6	1,6	-	8	3	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	24,9	49,2	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	58,1	32,8	60
$Share_{c1}^{kW}$	kW	68,1	4,6	1,8	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	38,4	2,4	1	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	30	40	-	15	15	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	6,7	8,9	-	3,3	3,3	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	6,7	1,6	-	3,3	3	-	-	-
$R_s$	kW	2,9	0	0	4,7	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	63,3	51,1	54,2

TABLE 20: RESULTATE FÜR FALL 11 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION

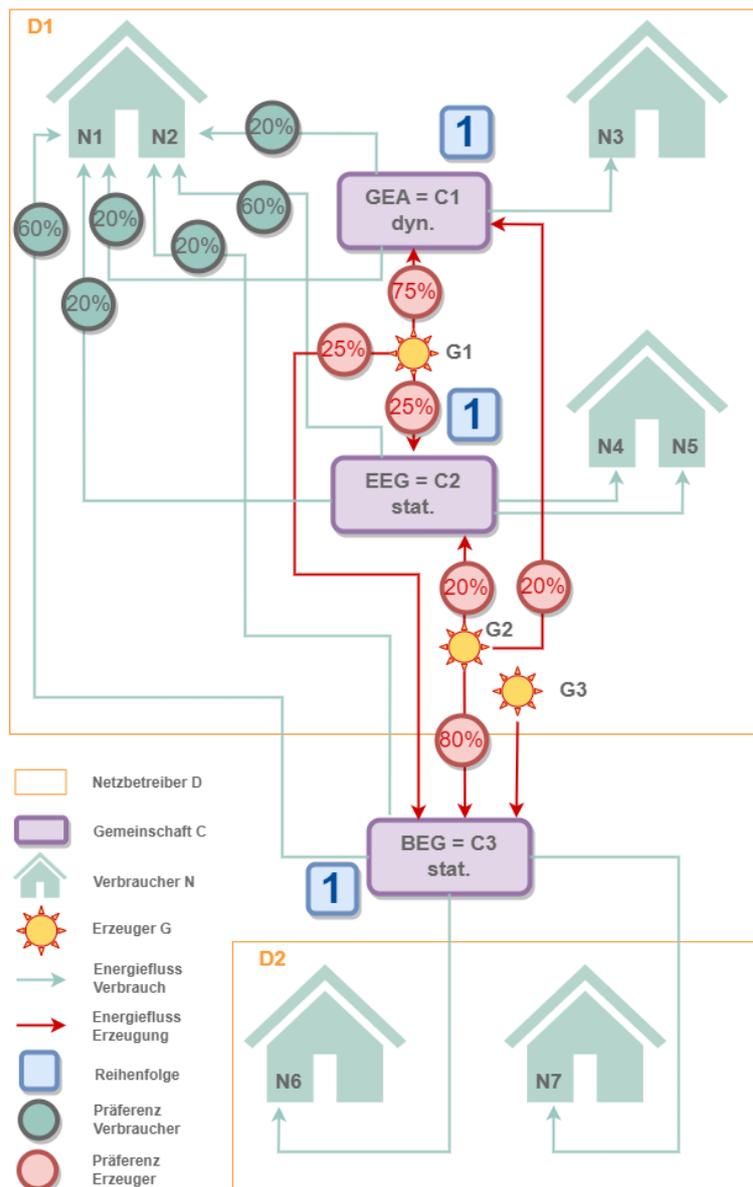


Fig. 36: Schematische Darstellung von Fall 12 Szenario A

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
$D_{n,c1}$	kW	13,8	5,8	20	-	-	-	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	13,8	17,4	-	9	16	-	-	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	41,1	5,8	-	-	-	48	14	-	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	29,4	15,4	-
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	29,4	38,5	-
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	-	-	39,2	23,1	56
$Share_{c1}^{st\%}$	%	30	40	30	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c1}^{kW}$	kW	15,6	6,6	22,6	-	-	-	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	13,8	5,8	20	-	-	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	10	20	-	30	40	-	-	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	6,8	13,6	-	20,4	27,2	-	-	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	6,8	13,6	-	9	16	-	-	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	28,3	18,9	-	-	-	35,5	23,7	-	-	-
$Sc_{c3}$	kW	28,3	5,8	-	-	-	35,5	14	-	-	-
$R_s$	kW	20,1	3,8	0	0	0	12,5	0	-	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	-	-	24,7	21,3	16,4

TABLE 21: RESULTATE FÜR FALL 12 SZENARIO A MIT VERTEILTER PRODUKTION

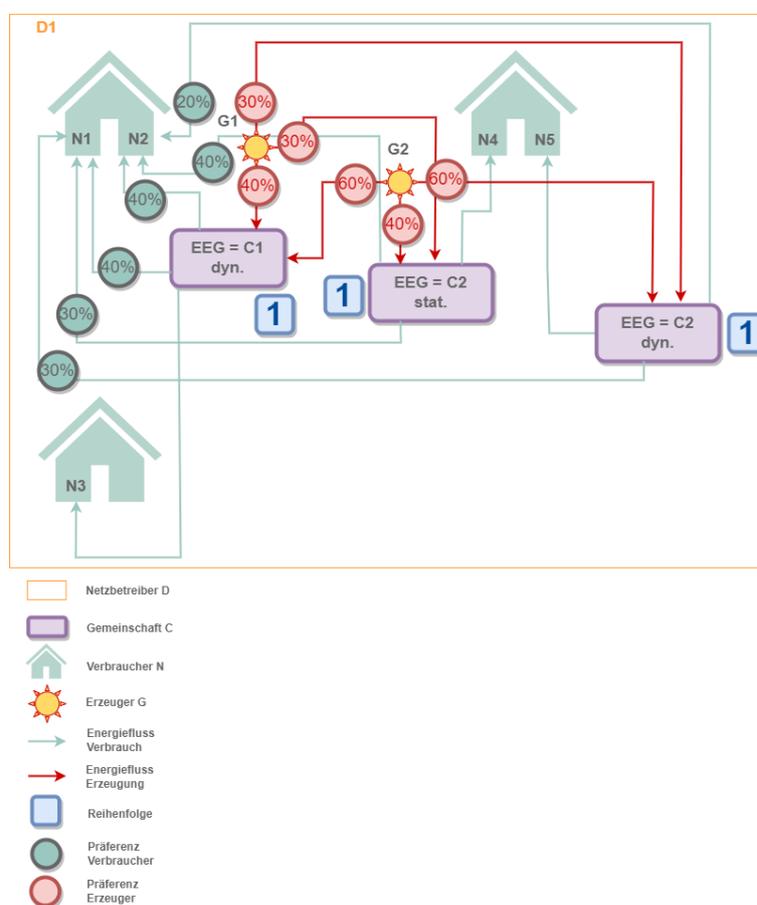


Fig. 37: Schematische Darstellung von Fall 12 Szenario B

	Einheit	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$G_1$	$G_2$
$D_{n,c1}$	kW	20,4	7,2	16	-	-	-	-
$D_{n,c2}$	kW	15,3	7,2	-	4	-	-	-
$D_{n,c3}$	kW	15,3	3,6	-	-	24	-	-
$P_{g,c1}$	kW	-	-	-	-	-	23,6	42,5
$P_{g,c2}$	kW	-	-	-	-	-	17,7	21,3
$P_{g,c3}$	kW	-	-	-	-	-	17,7	21,3
$Share_{c1}^{kW}$	kW	30,9	10,9	24,3	-	-	-	-
$Sc_{c1}$	kW	20,4	7,2	16	-	-	-	-
$Share_{c2}^{st\%}$	%	40	20	-	40	-	-	-
$Share_{c2}^{kW}$	kW	15,6	7,8	-	15,6	-	-	-
$Sc_{c2}$	kW	15,3	7,2	-	4	-	-	-
$Share_{c3}^{kW}$	kW	13,9	3,3	-	-	21,8	-	-
$Sc_{c3}$	kW	13,9	3,3	-	-	21,8	-	-
$R_s$	kW	1,4	0,3	0	0	2,2	-	-
$Exe_s$	kW	-	-	-	-	-	13,7	21,3

**TABLE 22:** RESULTATE FÜR FALL 12 SZENARIO B MIT VERTEILTER PRODUKTION