# Inhaltsverzeichnis

**1 Problemstellung** **2**

**2 Lösungsvorschlag** **3**

**3 Virtueller, saldierbarer FTM- und EE-Speicher als Lösung** **4**

3.1 Regeln für konsistente Zuordnung . . . . . 5

**4 Der Mechanismus in mathematischen Formeln** **6**

4.1 Messwerte des Zählers Z2 . . . . . 6

4.2 Viertelstündliche Zuordnung . . . . . 6

4.2.1 Speicherinhalte der virtuellen Speicher . . . . . 7

4.2.2 Speicherinhalte der Bilanzspeicher . . . . . 7

4.2.3 Kapazitäten der virtuellen Speicher und Bilanzspeicher . . . . . 7

4.2.4 Schätzparameter für Speicherwirkungsgrade . . . . . 8

4.6 Anfangsbedingungen für Bilanzspeicher . . . . . 13

**5 Ausweitung des Ansatzes auf Ladepunkte** **14**

# Vorschlag für eine konsistente viertelstündliche Abgrenzung von Strommengen bei Stromspeichern im Mischbetrieb

## 1 Problemstellung

Der hiermit eingereichte Konsultationsbeitrag bezieht sich auf Speicher und Ladepunkte im Mischbetrieb und geht damit über die aktuell zur Konsultation stehenden Orientierungspunkte hinaus. Er ist, neben den zur Konsultation stehenden Orientierungspunkten, durch das MiSpel-Verfahren sowie durch Kritikpunkte inspiriert, die in Konsultationsbeiträgen zu diesem Verfahren geäußert wurden.

Mehrere Stellungnahmen im MiSpeL-Konsultationsverfahren haben darauf hingewiesen, dass es für die Marktintegration von Speichern erforderlich ist, jene Strommengen, die aus dem Netz bezogen, im Speicher zwischengespeichert und wieder in das Netz eingespeist werden, nicht nur umlagen-, sondern perspektivisch auch netzentgeltseitig saldierbar zu machen.

Es muss klar bestimmbar sein, ob und in welcher Höhe der in den Speicher geflossene (Netz)-Strom später dem nichtprivilegierten Letztverbrauch, der saldierungsfähigen Netzeinspeisung bzw. den privilegierungsfähigen Stromspeicherverlusten oder den EE-Strommengen zuzurechnen ist.

So hatte die Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen (KEAN) bereits in ihrer Stellungnahme zum MiSpeL-Verfahren darauf hingewiesen und kritisiert, dass die viertelstündliche Erfassung von Strommengen zwar bereits heute Grundlage für die Umlagensaldierung und Direktvermarktung ist, diese Struktur jedoch bislang nicht konsequent auf den in MiSpeL vorgeschlagenen Abgrenzungsmechanismus übertragen ist und MiSpeL somit nicht „Netzentgelt-Ready“ ist.
Eine weitere Einschränkung ist, dass der Abgrenzungsmechanismus für konstante Arbeitspreise von Netzentgelten anwendbar wäre, für dynamische Arbeitspreise, Leistungs-

oder Kapazitätspreise bleibt jedoch bislang offen, wie der nichtprivilegierte Netzbezug von den saldierungsfähigen bzw. privilegierten Strommengen und ggf. EE-Strommengen abgegrenzt werden kann.

Ein solcher Abgrenzungsmechanismus soll konsistent sein. Damit ist hier gemeint, dass gegenüber dem Aufbau mehrerer physisch getrennter Speicher, die jeweils eine dieser Funktionen erfüllen (je einer für das Speichern privilegierter, nichtprivilegierter und EE-Strommengen), keine systematischen Vorteile entstehen dürfen.

Am Markt ist es heute bereits möglich, an einem Netzanschlusspunkt mehrere physisch getrennte Speicher zu installieren – etwa einen privilegierten Speicher (häufig als „FTM-Speicher“ bezeichnet), einen nichtprivilegierten Speicher („BTM-Speicher“) sowie ggf. einen dritten Speicher, der ausschließlich für EE-Strommengen genutzt wird. Einige Marktteilnehmer nutzen dieses Setup, um Speicherfunktionen sauber voneinander zu trennen und gleichzeitig von den jeweiligen Privilegierungen zu profitieren.

Eine solche physische Trennung ist jedoch nicht ressourceneffizient, unwirtschaftlich und keineswegs erforderlich, wenn sich dieselbe funktionale Trennung bilanziell abbilden lässt.

## 2 Lösungsvorschlag

Der vorliegende Beitrag schlägt hierfür einen konsistenten Abgrenzungsmechanismus vor, der auf einer virtuellen Aufteilung des Speichers in mehrere „virtuelle Speicher“ und zugehörige „Bilanzspeicher“ beruht.
Der Abgrenzungsmechanismus wird zunächst für einen stationären Speicher erläutert. Wie dies auf Ladepunkte übertragen werden kann, wird anschließend in Kapitel 5 beschrieben.

Das vorgeschlagene Konzept definiert einen Rahmen, in dem eine Zuordnung als „konsistent“ definiert wird. Er ermöglicht, die verschiedenen virtuellen Speicher getrennt voneinander zu steuern, sodass für die Letztverbraucher nahezu dieselbe Speichersteuerung wie heute genutzt werden kann, während die marktseitigen Aktivitäten von einer anderen Instanz (z. B. einem Vermarkter) durchgeführt werden können.

Wir weisen darauf hin, dass in diesem Vorschlag offen bleibt, ob eine ex-post-Zuordnung erlaubt sein soll. Damit könnte der Speicherbetreiber die Strommengen nachträglich netzentgeltoptimiert zuordnen. Alternativ kann auch gefordert werden, dass die Zuordnung bereits während des Betriebs festzulegen ist. Ebenso ist denkbar, den Mechanismus so zu erweitern, dass die Zuordnung nicht nur konsistent, sondern eindeutig und somit deterministisch ist.

# 3 Virtueller, saldierbarer FTM- und EE-Speicher als Lösung

Der hier vorgeschlagene Mechanismus verfolgt den Ansatz, einen einzigen physischen Speicher in mehrere virtuelle Speicher aufzuteilen, die sich – bezogen auf ihre Kapazität, ihr Lade/Entladeverhalten und ihren Energieinhalt – so verhalten, als wären sie einzelne Speicher. Ein Schaubild dazu ist in Abbildung 1 dargestellt.

Zwischen diesen virtuellen Speichern finden nur dann Interaktionen statt, wenn ein definierter „Zustandsübergang“ erfolgt. Dieser Übergang ist an Bedingungen geknüpft, die sicherstellen, dass kein unerlaubtes Verschieben von privilegierten in nichtprivilegierte Strommengen (oder umgekehrt) möglich ist.

Eine einfache Idee wäre, einen Speicher vollständig zu entleeren und anschließend in einen anderen Nutzungsmodus zu überführen (z. B. zeitweise ein reiner EE-Speicher, dann ein reiner privilegierter Speicher, dann ein reiner nichtprivilegierter Speicher). Dies stellt jedoch eine starke Einschränkung dar, die keine optimale Allokation der Speicherkapazität zulässt.
Im Gegensatz dazu ermöglicht die Aufteilung in virtuelle Speicher eine feingranulare, aber überprüfbare Trennung der Nutzungszwecke. Innerhalb jeder Nutzungsperiode verhält sich jeder virtuelle Speicherbereich so, als wäre er ein eigenständiger Speicher mit einer festen Kapazität. Änderungen dieser Kapazitätszuordnung sind nur über definierte Zustandsübergänge möglich.

Zur Sicherstellung der Konsistenz wird jedem virtuellen Speicher ein Bilanzspeicher zugeordnet:

- Der Bilanzspeicher funktioniert vergleichbar wie ein „Konto“, das speichert, wie viel Energie beim Wechsel von einem virtuellen Speicher in den anderen (Beispiel: von privilegiert zu nichtprivilegiert) mitgenommen wird, und erzwingt, dass diese Energiemenge bzw. Strommenge wieder zurückgeführt wird.
- Die begrenzte Kapazität des Bilanzspeichers stellt sicher, dass nicht beliebig viel Strom als „Schulden“ zwischen den virtuellen Speichern bestehen kann.

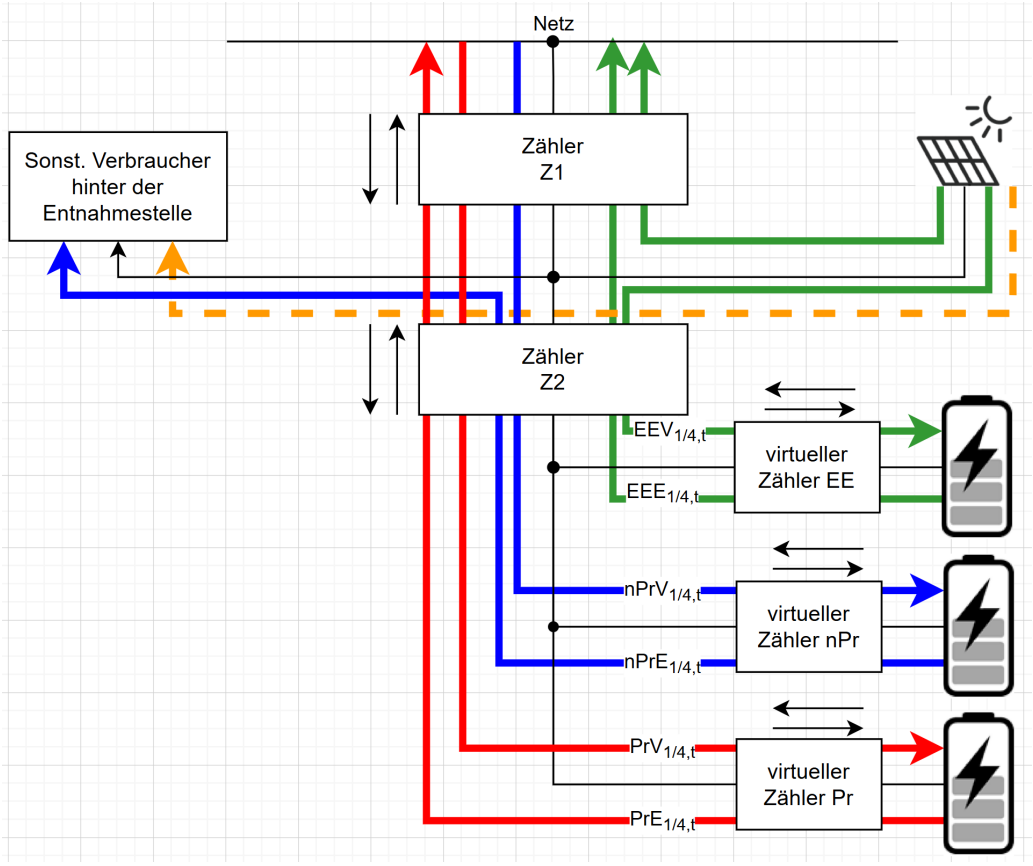



Abbildung 1: Schematische Darstellung von Netz, Speicher, PV, Verbrauchern und virtuellen Speichern sowie der zu definierenden Energiefluss-Zeitreihen. Die verwendeten Variablenbezeichnungen werden in Kapitel 4.2 erläutert

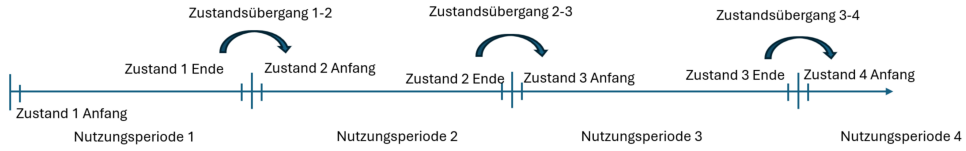



Abbildung 2: Nutzungsperioden und Zustandsübergänge (schematisch)

## 3.1 Regeln für konsistente Zuordnung

Damit lassen sich Regeln definieren, die für eine konsistente Zuordnung erfüllt sein müssen:

**Regel a)** Für jeden virtuellen Energiespeicher ist zu jedem Zeitpunkt der aktuelle Energieinhalt größer oder gleich Null und kleiner oder gleich der variablen Energiespeicherkapazität. Entsprechendes gilt für jeden Bilanzspeicher. Dies entspricht der physikalischen Realität eines Speichers.

**Regel b)** Die Summe der jeweiligen aktuellen Energieinhalte aller virtuellen Energiespeicher ist zu jedem Zeitpunkt gleich dem aktuellen Energieinhalt des physischen Energiespeichers. Diese Regel verhindert, dass Energieinhalt unberücksichtigt bleibt.

**Regel c)** Die Summe der jeweiligen variablen Energiespeicherkapazitäten aller virtuel-

len Energiespeicher ist zu jedem Zeitpunkt gleich der Energiespeicherkapazität des physischen Energiespeichers. Dadurch entsteht keine überschüssige virtuelle Kapazität.

**Regel d)** Die bei einem Zustandsübergang zwischen virtuellen Speichern bilanziell übertragene Energiespeicherkapazität ist gleich der zwischen den jeweiligen Bilanzspeichern übertragenen Energiespeicherkapazität.

**Regel e)** Der bei einem Zustandsübergang zwischen virtuellen Speichern bilanziell übertragene Energieinhalt ist gleich dem zwischen den jeweiligen Bilanzspeichern übertragenen Energieinhalt.

Regel b lässt sich nicht jederzeit exakt erfüllen, da der Ladezustand (State of Charge, SoC) des Speichers häufig nur geschätzt werden kann. Wir schlagen vor, auf Grundlage eines SoC-Schätzers die Verluste zu bestimmen und regelmäßige Korrekturen vorzunehmen.

# 4 Der Mechanismus in mathematischen Formeln

Für die folgenden Betrachtungen werden die zeitabhängigen Größen um Zeitindizes $t$ ergänzt, wobei ein Wert $t$ jeweils einem 15-Minuten-Intervall entspricht und $t+1$ das darauffolgende Intervall darstellt.

## 4.1 Messwerte des Zählers Z2

Die vom Zähler Z2 gemessenen viertelstündlichen Werte (Strommengen) lauten:

$Z2V_{1/4,t}$ : **V**erbrauch im Stromspeicher bzw. eingespeicherte Energie in Viertelstunde $t$,

$Z2E_{1/4,t}$ : **E**rzeugung im Stromspeicher bzw. entnommene Energie in Viertelstunde $t$.

## 4.2 Viertelstündliche Zuordnung

Die nun zu definierenden viertelstündlichen Werte dienen der Zuordnung dieser Strommengen zum privilegierten Netzbezug/Einspeisung, zum nichtprivilegierten Netzbezug/ Verbrauch sowie zu den EE-Strommengen.

Allgemein werden die den einzelnen Bereichen zugeordneten erzeugten und verbrauchten Strommengen im virtuellen Speicher $i$ im Zeitschritt $t$ wie folgt bezeichnet.

Sei $\mathcal{S}$ die Menge der virtuellen Speicherbereiche. Ein Index $i \in \mathcal{S}$ bezeichnet allgemein einen dieser Bereiche (z. B. $i \in \{Pr, nPr, EE\}$). Sofern nicht explizit anders angegeben, gelten die folgenden Formeln für alle Speicherbereiche $i \in \mathcal{S}$.

$iE_{1/4,t}$ : **E**rzeugte Energie/Entladen im virtuellen Speicher $i$ in Viertelstunde $t$,

$iV_{1/4,t}$ : **V**erbrauchte Energie/Laden im virtuellen Speicher $i$ in Viertelstunde $t$.

Für die virtuellen Speicher verwenden wir folgende Abkürzungen bzw. Indizes:

- $Pr$: privilegierter Anteil,
- $nPr$: nichtprivilegierter Anteil,
- $EE$: Anteil erneuerbarer Energien.

Die viertelstündlichen Strommengen für die **E**rzeugung und den **V**erbrauch in den virtuellen Speichern lauten damit:

$$PrE_{1/4,t}, \quad PrV_{1/4,t}, \quad nPrE_{1/4,t}, \quad nPrV_{1/4,t}, \quad EEE_{1/4,t}, \quad EEV_{1/4,t}.$$

Basierend auf diesen Zeitreihen kann dann die Berechnung von Umlagen, Netzentgelten u. a. vorgenommen werden.

### 4.2.1 Speicherinhalte der virtuellen Speicher

Die Energieinhalte der virtuellen Speicher sind:

$$E_{Pr,t}, \quad E_{nPr,t}, \quad E_{EE,t}.$$

### 4.2.2 Speicherinhalte der Bilanzspeicher

Die Energieinhalte der Bilanzspeicher (analog zu Kontoständen) sind:

$$EB_{Pr,t}, \quad EB_{nPr,t}, \quad EB_{EE,t}.$$

### 4.2.3 Kapazitäten der virtuellen Speicher und Bilanzspeicher

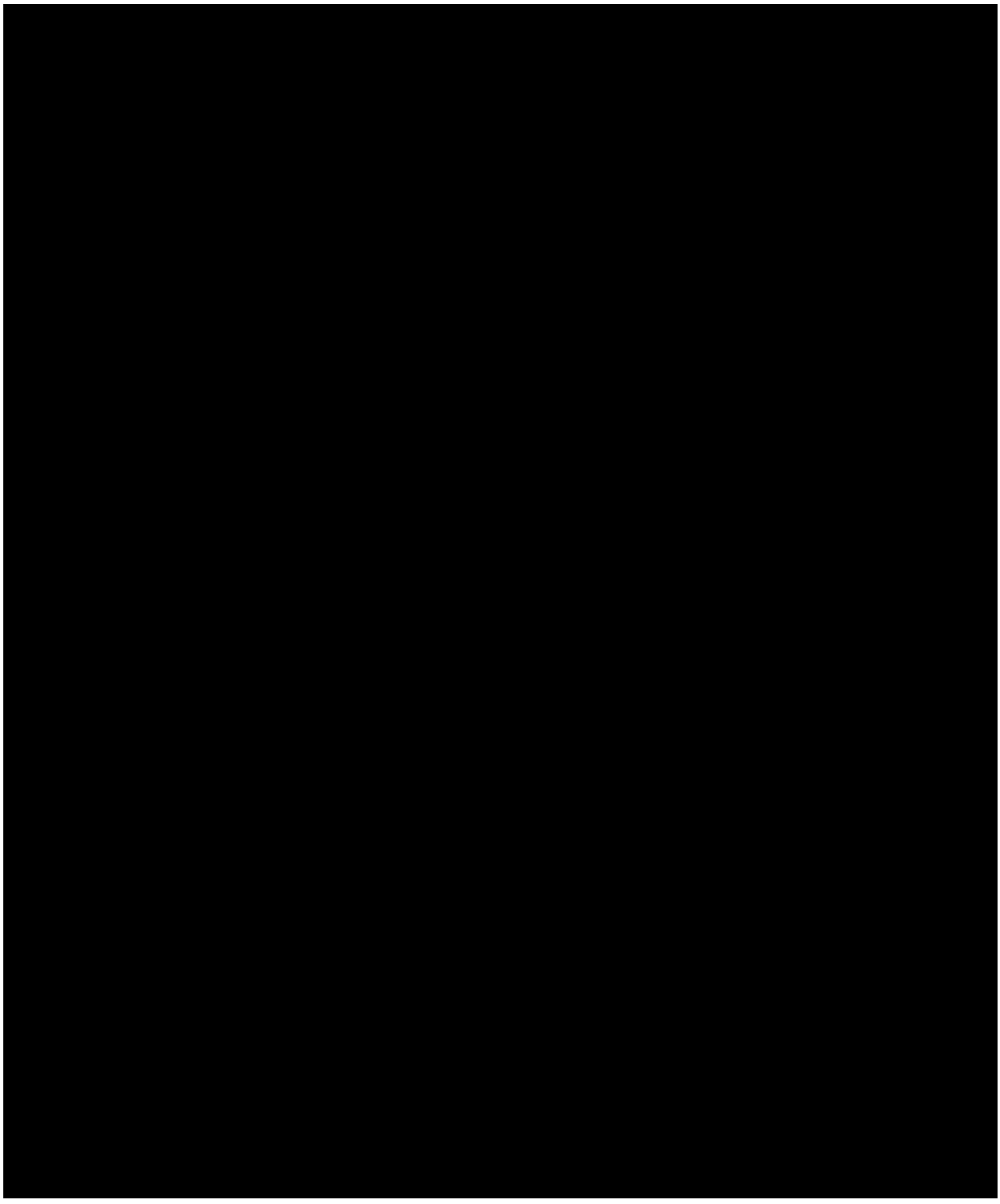
Die Energiespeicherkapazitäten der virtuellen Speicher und der Bilanzspeicher (zeitabhängig) sind gleich, wobei die jeweiligen Energieinhalte unterschiedlich sein können:

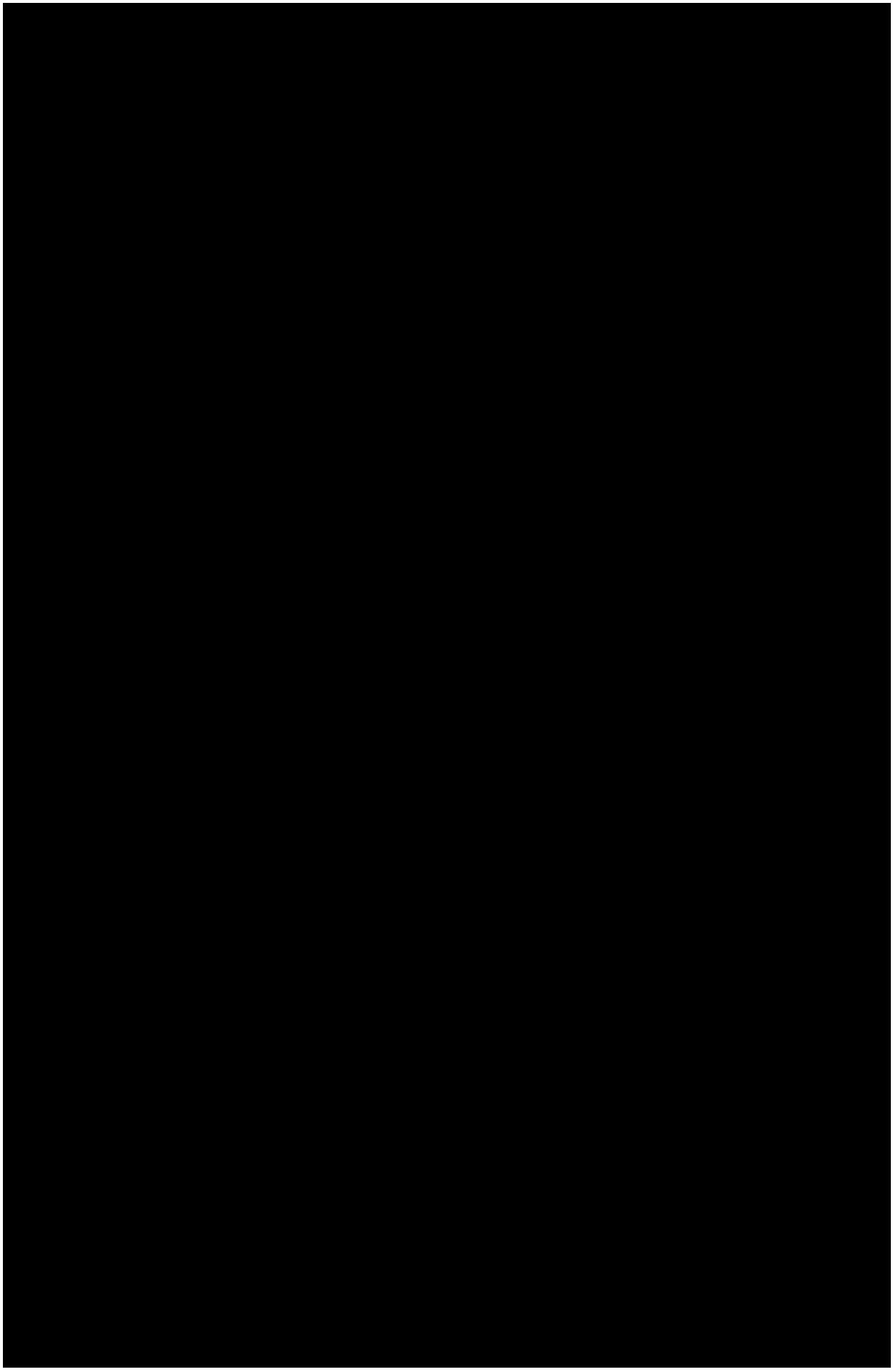
$$EK_{Pr,t} = EKB_{Pr,t}, \tag{1}$$
$$EK_{nPr,t} = EKB_{nPr,t}, \tag{2}$$
$$EK_{EE,t} = EKB_{EE,t}. \tag{3}$$

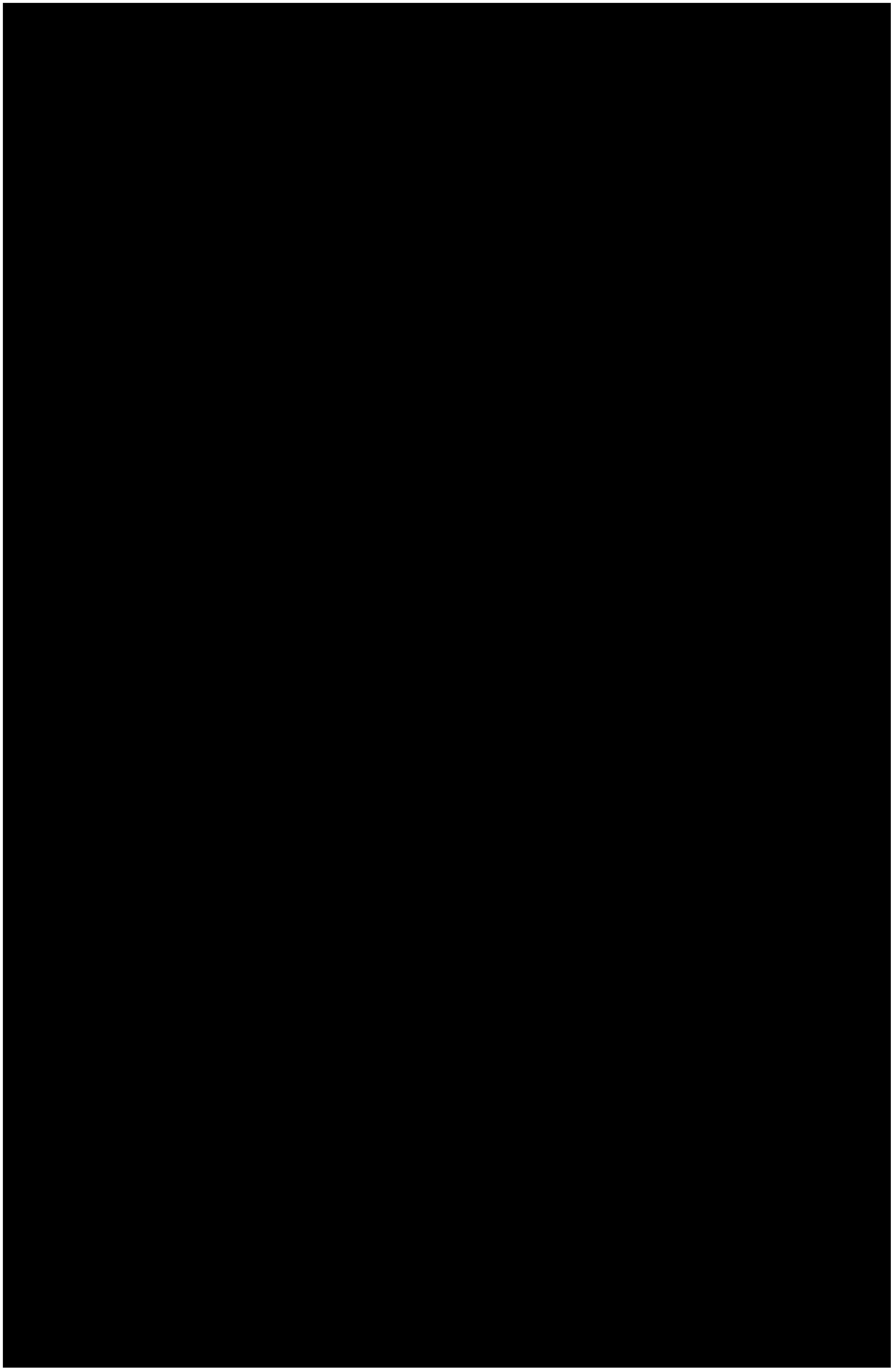
### 4.2.4 Schätzparameter für Speicherwirkungsgrade

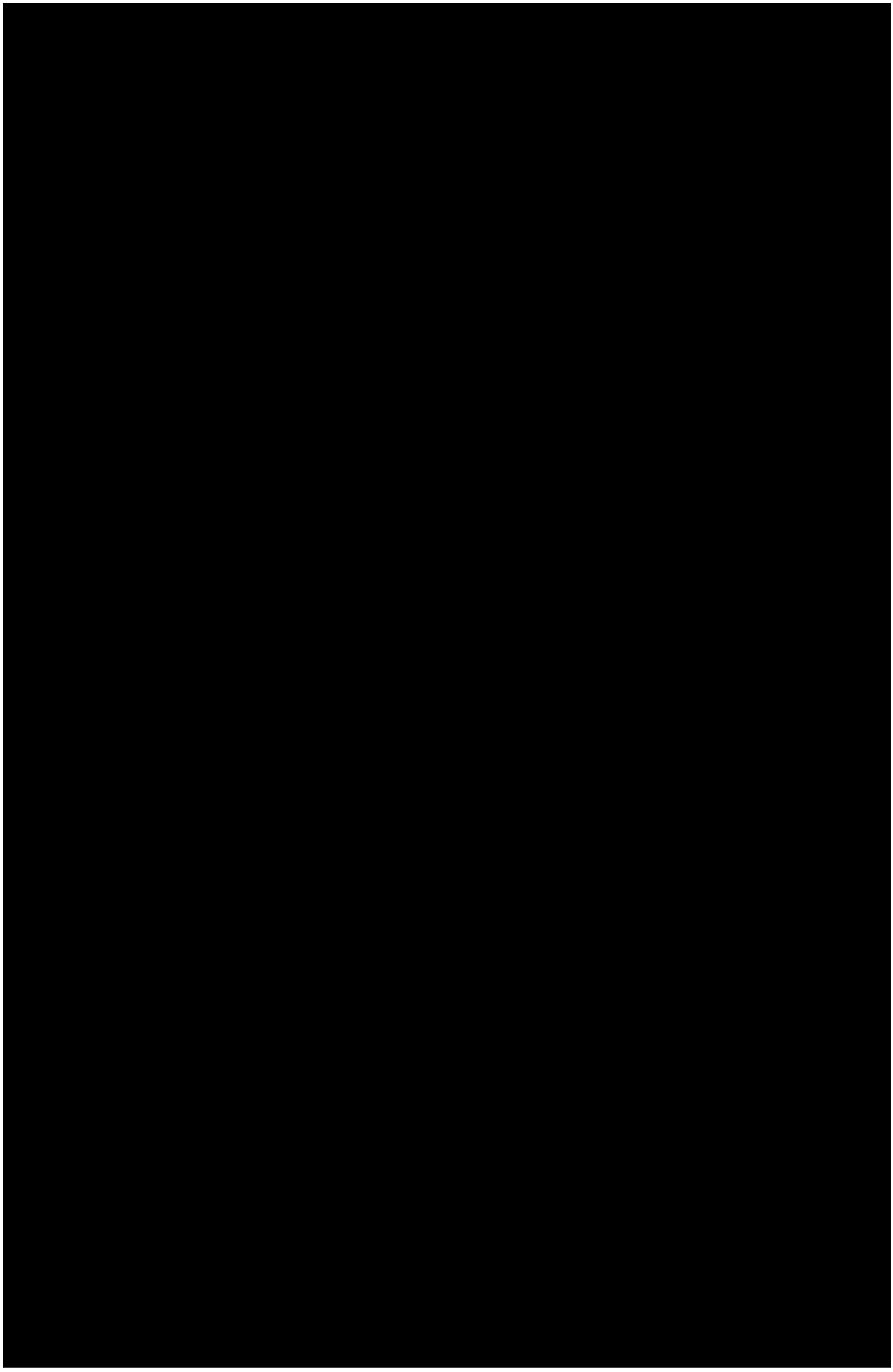
Für die Modellierung von Verlusten werden folgende Parameter verwendet:

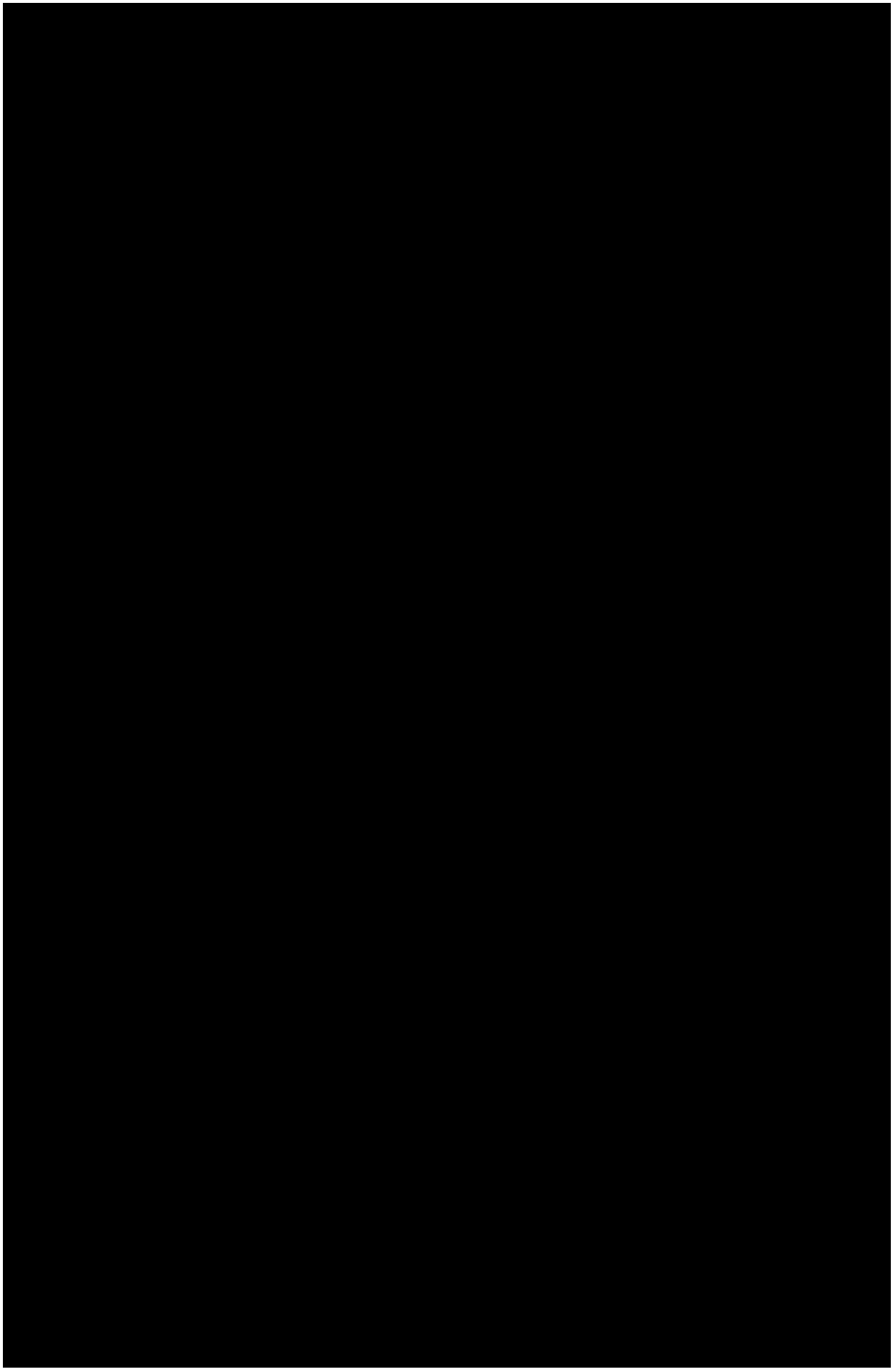
- $\eta_{\text{Laden}}$: Ladewirkungsgrad,
- $\eta_{\text{Entladen}}$: Entladewirkungsgrad,
- $x_{\text{Selbstentladung},1/4}$: Selbstentladung pro Viertelstunde.

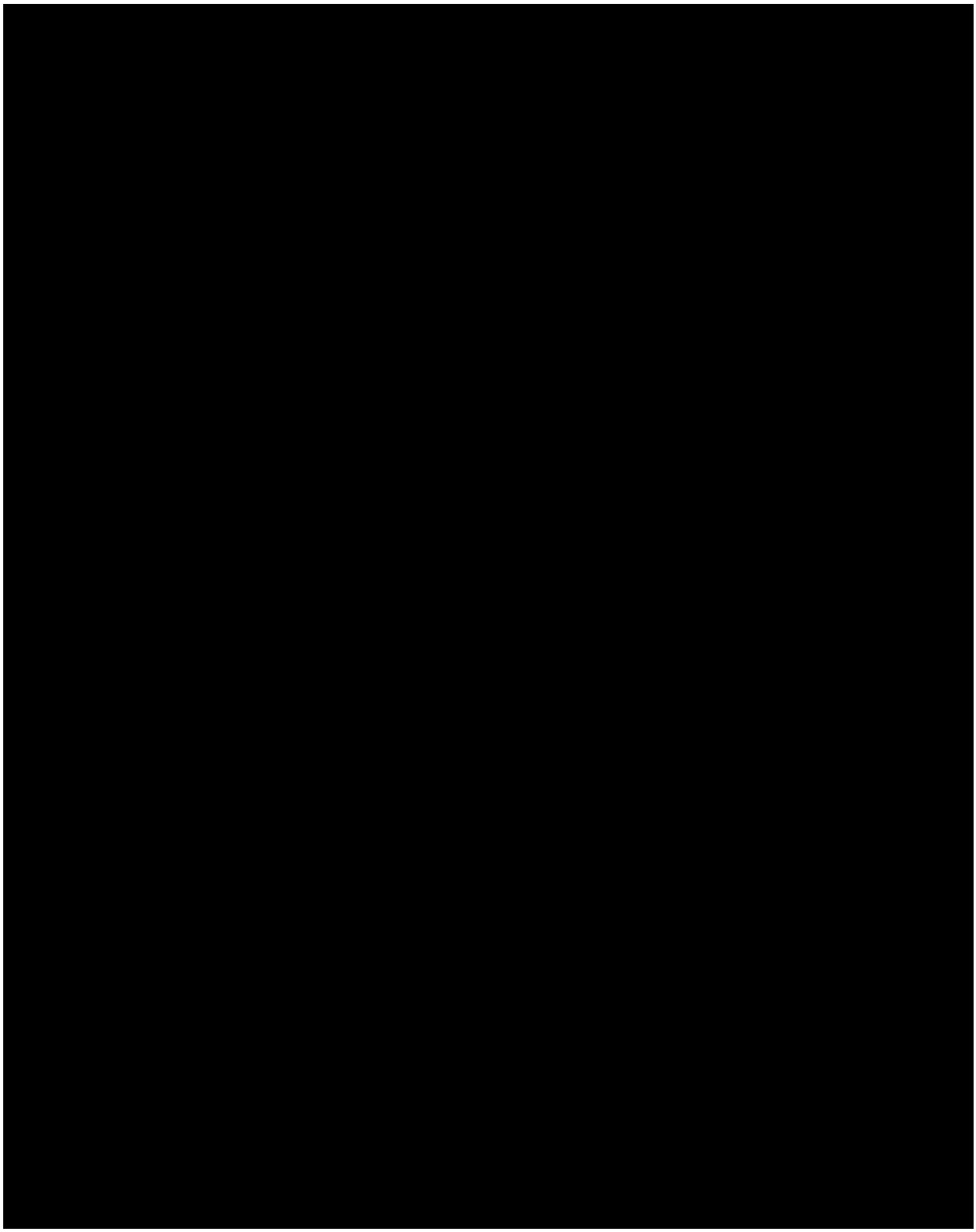












## 4.6 Anfangsbedingungen für Bilanzspeicher

Die initial den Bilanzspeichern zugerechnete Strommenge definiert somit die Summe an „Schulden“ an Strommengen, die zwischen allen virtuellen Speichern zusammen bestehen. Diese Größe determiniert dadurch die Flexibilität des Systems.

Die Extremfälle sind:

- **Bilanzspeicher initial vollständig gefüllt:** Die Bilanzspeicher werden initial als vollständig gefüllt definiert. Ein Zustandsübergang kann in diesem Fall nur erfolgen, wenn die transferierte Energiemenge und die transferierte Speicherkapazität identisch sind, was einem vollständig geladenen Speicher entspricht.
- **Bilanzspeicher initial leer:** Die Bilanzspeicher werden initial als leer definiert. In diesem Fall kann keine Energie transferiert werden; es kann lediglich vollständig entladene Speicherkapazität zwischen virtuellen Speichern übertragen werden.

Soll diese Festlegung nicht bereits zu Beginn erfolgen, kann der Bilanzspeicher des nichtprivilegierten Bereichs entfallen. In diesem Fall entfällt die Bedingung (14).

Bleibt man bei der Schuldenanalogie, entspricht dies folgendem Vorgehen: Es wird ausschließlich bei den „Schuldnern“ (Pr und EE) verbucht, wie viel sie dem nichtprivilegierten Bereich schulden, nicht jedoch beim „Gläubiger“ (nPr), wie viel ihm noch zusteht. Damit ist weiterhin sichergestellt, dass die „geschuldete“ Energiemenge auf die Speicherkapazität begrenzt ist.

# 5 Ausweitung des Ansatzes auf Ladepunkte

Für Ladepunkte ist es häufig schwierig oder nicht möglich, eine zuverlässige State-of-Charge-(SoC-)Schätzung zu erhalten. Zudem ist die Speicherkapazität des angeschlossenen Fahrzeugs nicht zwingend bekannt und variiert zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen.

Wir schlagen daher vor, für Ladepunkte eine *Referenzspeicherkapazität* festzulegen, die unabhängig vom jeweils angeschlossenen Fahrzeug ist. Diese Referenzspeicherkapazität wird verwendet, um zu begrenzen, welche virtuelle Speicherkapazität dem privilegierten virtuellen Speicher sowie dem EE-Speicher zugeordnet werden darf. Dadurch wird zugleich begrenzt, in welchem Umfang Strommengen zwischen den virtuellen Speichern bilanziell „geschuldet“ werden können (über die Bilanzspeicher), was ein zeitliches bzw. zyklisches Verschieben von Strommengenzuordnungen wirksam einschränkt.

Die Begrenzungen für den virtuellen Speicher und den Bilanzspeicher des nichtprivilegierten Bereichs werden hingegen aufgehoben. Auf diese Weise können auch Fahrzeuge mit einer größeren tatsächlichen Speicherkapazität als der Referenzspeicherkapazität sicher vollständig geladen werden. Die über die Referenzspeicherkapazität hinausgehende Speicherkapazität steht jedoch nicht für eine Vermarktung oder Privilegierung zur Verfügung.

Dies bedeutet, dass die Bedingungen (11) und (14) für Ladepunkte nicht angewendet werden, während Bedingung (18) entsprechend zu einer modifizierten Bedingung (51) angepasst wird.

[redacted] (51)

Die Berücksichtigung von Fehlern durch eine ungenaue Schätzung der Verlustenergie kann hier vermutlich nicht vorgenommen werden. Wenn die Wirkungsgradparameter für Laden und Entladen konservativ geschätzt werden, also mit hoher Sicherheit nicht besser angesetzt werden als sie tatsächlich sind, und die Selbstentladung vernachlässigt wird, werden die privilegierungsfähigen Speicherverluste nicht überschätzt.