

David Kim  
 Achim Geissler  
 Claudio Menn  
 Dirk Hengevoss

# Quantifizierung des Umweltnutzens von gebrauchten Batterien aus Elektrofahrzeugen als gebäudeintegrierte 2nd-Life-Stromspeichersysteme

Aufgrund der Energieperspektiven 2050 des schweizerischen Bundesamtes für Energie (BFE) wird das zukünftige Potenzial von gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen als stationäre Stromspeicher in Gebäuden untersucht. In drei Szenarien wird der Umweltnutzen für das Jahr 2035 und 2050 ermittelt. Hierzu wird berechnet, wie viel Kapazität an herkömmlichen Speichern durch eine gewisse Kapazität an wiederverwendbaren gebrauchten Batterien substituiert werden kann. Das Substitutionspotenzial wird mit ausgewählten Wirkindikatoren wie dem Treibhauspotenzial (GWP) und dem kumulierten Energieaufwand (CED) analysiert. Im Jahr 2050 können ca. 760 bis 1170 MWh an herkömmlichen Speichern durch 2nd-Life-Speicher substituiert werden. Dabei kann das Treibhauspotenzial pro Jahr um ca. 11.000 bis 16.000 t CO<sub>2</sub> Äq gesenkt und der kumulierte Energieaufwand um ca. 207.000 bis 305.000 GJ verringert werden. Die Resultate zeigen, dass der Einsatz von 2nd-Life-Batterien in stationären Anwendungen einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung durch Batterien beitragen kann.

## Quantifying environmental benefits of used batteries coming from electric vehicles as stationary energy storage systems.

*Based on the "Energy Perspectives 2050" scenarios published by the Swiss Federal Office of Energy (SFOE), used lithium-ion batteries coming from electric vehicles (EV) are being researched for their future potential to be implemented as stationary energy storage in buildings for. With the help of three investigation scenarios the environmental benefits for the years 2035 and 2050 are evaluated. Calculations are carried out on how much conventional battery storage capacity may be substituted by a certain amount of reusable 2nd-Life batteries. The substitution potential is analyzed with selected category indicators such as the global warming potential (GWP) and the cumulative energy demand (CED). It is found that between 760 and 1170 MWh conventional energy storage may be substituted by 2nd-Life by 2050. Thus, the global warming potential may be reduced by between 11,000 to 16,000 t CO<sub>2</sub> eq. per year, and the cumulative energy demand between 207,000 to 305,000 GJ. Results show that utilising 2nd-Life batteries in stationary systems can contribute significantly to reducing the environmental impact of batteries.*

## 1 Einführung

Die individuelle Elektromobilität gewinnt seit einigen Jahren an Bedeutung und das Angebot an Elektrofahrzeugen wird immer zahlreicher. In Anbetracht der Anstrengungen, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und des steigenden Um-

weltbewusstseins in der Bevölkerung, kann auch in der Zukunft mit einem wachsenden Bestand an Elektrofahrzeugen mit Lithium basierter Batterietechnologie gerechnet werden. Die Mengen an außer Verkehr gesetzter Batterien werden infolge zunehmen. Die Produktion sowie das Recycling von Batterien sind energie- und rohstoffintensiv und umfassen einen wesentlichen Teil der Umweltauswirkungen der gesamten Produktion eines Elektrofahrzeuges [1]. Mit der Nachnutzung von gebrauchten Batterien aus Elektrofahrzeugen als 2nd-Life-Stromspeicher in Wohngebäuden kann diese Umweltbelastung reduziert werden.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wird der Umweltnutzen durch Wiederverwendung von gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektropersonenwagen („Electric Vehicles“, EV) untersucht. Dabei wird der Ansatz verfolgt, dass eine bestimmte Kapazität an 2nd-Life-Batterien eine gewisse Kapazität herkömmlicher Solarstromspeicher ersetzen kann (substituierbare Kapazität). Aus der eingesparten Produktion herkömmlicher Speicher resultiert ein Umweltnutzen. Dieser wird mit ausgewählten Wirkindikatoren wie das Treibhauspotenzial (GWP) ausgewertet.

Die meisten internationalen Studien zu 2nd-Life-Speichersystemen fokussieren sich auf die Wirtschaftlichkeit und technische Durchführbarkeit [2] bis [7]. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wird auch die Wirtschaftlichkeit von Stromspeichersystemen untersucht [30] und zwei 2nd-Life-Stromspeichersysteme in Pilotanlagen am Standort Basel im Rahmen der Pilotregion Basel – 2000 Watt Gesellschaft verwirklicht [8].

Von den oben genannten Studien berücksichtigen nur zwei zusätzlich die Umweltauswirkungen [2], [4]. Im Fokus dieser beiden Studien stehen jedoch die Umweltauswirkungen der Deckung der Spitzenlast tagsüber mit nachts aus der Steckdose geladenem Strom und nicht der Vergleich zu herkömmlichen Speichern. Unterschiede der Umweltauswirkungen wurden durch variierende Strommische im Tageslastgang verursacht. Dabei wurde keine PV-Anlage berücksichtigt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Allgemein

Zum heutigen Zeitpunkt beträgt der Anteil an neu zugelassenen Elektropersonenwagen („Electric Vehicles“, EV) weniger als ein Prozent der gesamten Neuwagenflotte von

knapp über 300.000 Personenwagen pro Jahr [9]. Im Jahr 2013 wurden in der Schweiz 1751 batterieelektrische (BEV) und 394 Plug-in-Hybrid-Personenwagen (PHEV) verkauft [10], [11]. Der erste serienmäßige Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien in Elektroautos erfolgte in der Schweiz im Frühjahr 2011 [12]. Der Rücklauf an wiederverwendbaren Batterien ist somit in den kommenden Jahren noch als gering einzustufen.

Es ist zukünftig jedoch von der Verfügbarkeit größerer Mengen Batterien für 2nd-Life-Stromspeicher auszugehen. In vorliegender Studie werden zur Festlegung der verfügbaren Batteriemengen die Szenarien der Energieperspektiven 2050 (EP 2050) des Bundesamtes für Energie (BFE) [13] zugrunde gelegt.

### Brennstoffzellen-Fahrzeuge FCV

In den EP 2050 finden ab dem Jahr 2035 auch Brennstoffzellenfahrzeuge (FCV) eine größere Verbreitung. Es wird davon ausgegangen, dass in FCV zusätzlich eine Batterie mit nennenswerter Kapazität vorhanden ist. Der Bundesverband für eMobilität sieht den Vorteil von FCV darin, dass die Brennstoffzelle als Range Extender fungiert. Für Kurz- und Mittelstrecken werden die Fahrzeuge bei höchstem Wirkungsgrad und geringsten Kosten als BEV Plug-In betrieben, für Langstrecken als FCV [14]. Es wird in vorliegender Studie daher angenommen, dass FCV hinsichtlich der Batteriekapazität den PHEV entsprechen. Im Jahr 2035 können in einem PHEV mit den hier getroffenen Annahmen rund 200 km batterieelektrisch zurückgelegt werden.

## 2.2 Energiepolitische Szenarien

In Anlehnung an die EP 2050 werden zwei maßnahmenorientierte und ein zielorientiertes Szenario angewendet. Die Unterschiede zwischen diesen Szenarien liegen in den angenommenen energiepolitischen Rahmenbedingungen. Bei allen drei wird ein schrittweiser Ausstieg aus der Kernenergie laut dem Entscheid des Bundesrates (25. 05. 2011) vorgegeben.

Das erste maßnahmenorientierte Szenario „Weiter wie bisher“ (WWB) unterliegt einer Weiterführung der aktuellen energiepolitischen Instrumente, Gesetze und Maßnahmen (wie z. B. der kostendeckenden Einspeisevergütung für PV-Anlagen). Es wird von einem starken Anstieg der Fahrleistung ausgegangen (gefährdete Kilometer aller PW in der Schweiz), welcher hauptsächlich durch das Bevölkerungswachstum verursacht wird. Der Anteil an EV steigt bis ins Jahr 2050 moderat auf 30 % der Pkw-Flotte.

Das zielorientierte Szenario „Neue Energiepolitik“ (NEP) widerspiegelt das Zielszenario des Bundesrates bis ins Jahr 2050 mit klaren energiepolitischen Vorgaben bezüglich des Energieverbrauchs, der Stromproduktion (starke Förderung erneuerbarer Energien) und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses in Richtung Energiewende. Die jährliche Fahrleistung steigt ungeachtet einer gleichen Bevölkerungsentwicklung wie im Szenario WWB deutlich weniger stark an. Gleichzeitig wächst der Anteil der EV bis zum Jahre 2050 auf rund 41 % an. In Bild 1 ist die Entwicklung der EV im Szenario „NEP“ dargestellt. Das Startjahr 2013 wurde aktuellen Statistiken entnommen, während die Fortschreibung den Annahmen gemäß EP 2050 entspricht.

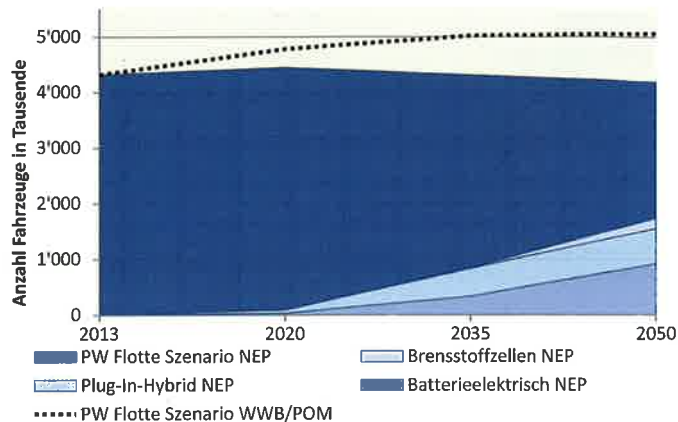


Bild 1. Entwicklung EV-Flotte (Szenario NEP) und Entwicklung der PW-Flotte (alle Szenarien)

Fig. 1. Development of the EV fleet (Scenario NEP) and development of the car fleet (all scenarios)

Das zweite maßnahmenorientierte Szenario „Politische Maßnahmen“ (POM) gründet auf vorgeschlagene Maßnahmenpakete des Bundesrates zur Energienachfrage und zum Elektrizitätsangebot. In diesem Szenario werden sowohl heute bestehende Technologien und deren absehbaren zukünftigen Weiterentwicklungen als auch gezielte Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien miteinbezogen. Das Szenario POM liegt zwischen den beiden Szenarien WWB und NEP; der Anteil der EV und die Struktur der Fahrzeugklassen innerhalb der EV entspricht dem Szenario NEP, während die Fahrleistungen und Größe der Fahrzeugflotte gleich dem Szenario WWB sind.

Die drei Szenarien führen zu unterschiedlichen verfügbaren Nennkapazitäten an gebrauchten Batterien aus der individuellen Elektromobilität.

## 2.3 Batterie

Im Rahmen dieser Studie wird die Umweltbelastung infolge der Herstellung der Batterien auf der Grundlage einer LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Batterie der Schweizer Firma Brusa Elektronik AG ermittelt. Die Batteriezellen stammen vom südkoreanischen Unternehmen Kokam Co., Ltd. Im Detail sind es Brusa EVB1 Li-Batteriepakete auf Basis prismatischer Kokam SLPB Li-Ionen-Zellen mit Polymer-Elektrolyt [15].

Die Sachbilanz der oben genannten Batterie zur Berechnung der Umweltauswirkungen stammt aus der ecoinvent v2.2-Datenbank und basiert auf einer Ökobilanzstudie der EMPA über Lithium-Ionen-Batterien in einem Elektrofahrzeug [1]. Sie ist die einzige im ecoinvent v2.2 vorhandene Sachbilanz einer Li-Ionen-Batterie.

In diesem Beitrag wird auf der Grundlage eines spezifischen Batterietyps der Umweltnutzen von 2nd-Life-Batteriespeichern für Gebäude abgeschätzt. Der in der ecoinvent v2.2-Datenbank verfügbare Batterietyp LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ist eine von derzeit mehreren verfügbaren Bauweisen. Sie ist bedingt mit anderen oder mit einer Durchschnittsbatterie vergleichbar. Zum Beispiel werden die aktiven Materialien im Gegensatz zur verbreiteten Herstellung nicht mit Lösungsmitteln auf die Kupferfolie der Anode respektive auf die Aluminiumfolie der Kathode aufgetragen, sondern mit Wasser. Dies spart viel Energie, da sie keine besonderen

Ansprüche an die Produktionsatmosphäre zur Trocknung stellt und senkt zudem die Herstellungskosten [1], [16]. Der geringere Energieaufwand ist u. a. auch ein Grund für die sehr niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Batterien aus anderen Ökobilanz-Studien [16]. Die Autoren dieser Ökobilanz [1] gehen wegen den günstigeren Herstellungskosten davon aus, dass sich die in vorliegendem Beitrag betrachtete LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Technologie bei größerer Verbreitung von Elektrofahrzeugen durchsetzen wird.

In den Szenarien wird eine zukünftige Steigerung der Energiedichte bei Batterien angenommen. Unter der Annahme einer gleichbleibenden Speicherkapazität nimmt bei steigender Energiedichte die benötigte Masse der Batterien umgekehrt proportional ab. Die Energiedichte steigt von 0,114 kWh/kg [15] im Jahr 2013 auf 0,40 kWh/kg [17] im Jahr 2050 (s. Bild 7).

### 2nd-Life-Systemgrenze

Die funktionelle Einheit der Studie ist 1 kWh substituierbare Nennkapazität. Im System eingeschlossen sind Produktion, Betriebsführung und Entsorgung der Batterien. Es werden zudem auch jene Batterien aus den EV im System mit eingeschlossen, welche aufgrund mangelnder Qualität und Beschädigungen aussortiert werden müssen.

Außerhalb der Systemgrenze befindet sich die gesamte Elektromobilität mit dem Betrieb der Batterien; relevant sind lediglich die Eigenschaften der gebrauchten Batterien zum Zeitpunkt des Eintritts in das System 2nd-Life. Zudem befinden sich alle Komponenten des Speichers (Wechselrichter, Gehäuse, Verkabelung etc.) außerhalb der Systemgrenze, da deren Umweltauswirkungen im System 2nd-Life und herkömmlich als identisch angenommen werden. Dies gilt ebenfalls für die Art und Menge der gespeicherten Elektrizität in den Systemen herkömmlich und 2nd-Life. Bild 2 zeigt die Systemgrenze des modellierten Speichers.

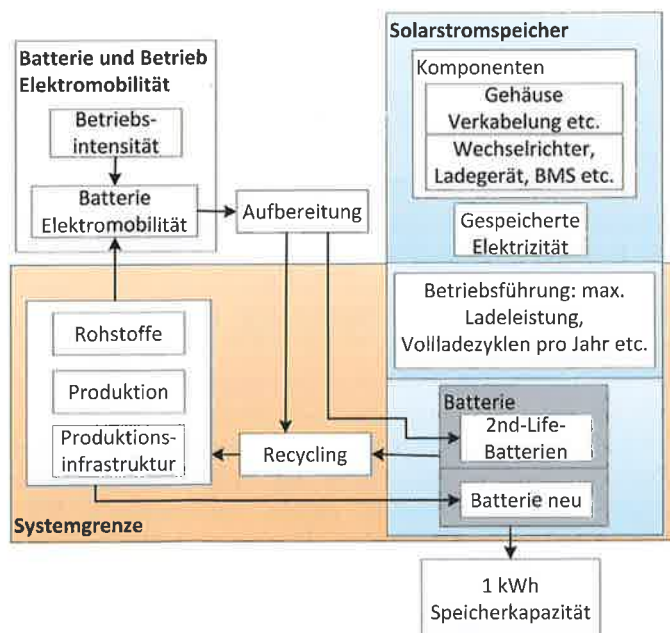


Bild 2. Systemgrenze des Systems 2nd-Life  
 Fig. 2. System boundary of the system 2nd-Life

## 3 Methode

### 3.1 Modell und Definitionen

#### Modell

Die Menge der verfügbaren Nennkapazität  $E_{EM}$  an Batterien aus der Elektromobilität im Jahr  $j$  ist abhängig von der Anzahl Neuwagen eines bestimmten Jahrgangs  $j$ -T und deren durchschnittliche Batteriekapazität. Zum Beispiel werden die (verwendbaren) Batterien aus den im Jahr 2023 in Verkehr gesetzten Elektroneuwagen bei der in dieser Studie angenommenen „technischen Nutzungsdauer“ von  $T = 12$  Jahren im Jahre 2035 in einem 2nd-Life-Speicher eingesetzt.

Aufgrund von Beschädigung und Verschleiß ist nicht damit zu rechnen, dass die gesamte verfügbare Nennkapazität  $E_{EM,j}$  in einem 2nd-Life-Speicher verwendet werden kann. Der Anteil brauchbarer Batterien wird wiederverwendbare Kapazität  $E_{WV,j}$  genannt.

Außerdem ist davon auszugehen, dass Batterien von 2nd-Life-Stromspeichern eine geringere Anzahl zur Verfügung stehender Entladezyklen aufweisen als neue Batterien herkömmlicher Stromspeicher. Aufgrund der vorangegangenen Nutzung in Elektrofahrzeugen wird zudem von einer reduzierten maximal zulässigen Entladetiefe ausgegangen. Infolge ihrer Vornutzung ist – ungeachtet einer sorgfältigen Prüfung beim Übergang vom EV zur 2nd-Life-Nutzung – bei 2nd-Life-Batterien gegenüber Neubatterien auch mit etwas größeren Kapazitätsausfällen zu rechnen. Diese Unterschiede im Qualitätsniveau haben zur Folge, dass die wiederverwendbare Kapazität  $E_{WV,j}$  eine geringere Nennkapazität neuwertiger Batterien ersetzen kann. Die entsprechende Kapazität wird hier als substituierbare Nennkapazität  $E_{SB,j}$  bezeichnet. Bild 3 skizziert die Funktionsweise des Modells zur Berechnung von  $E_{SB,j}$ .

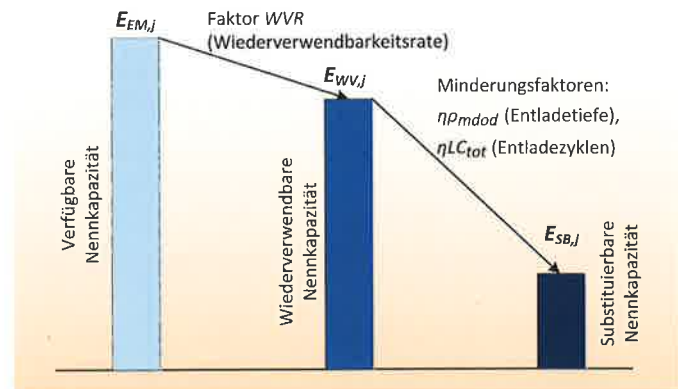


Bild 3. Exemplarische Darstellung zur Berechnung der substituierbaren Nennkapazität

Fig. 3. Exemplary demonstration for the substitutable rated capacity calculation

#### Definitionen

Mit der Anzahl Elektro-Neuwagen  $NEM_j$  und der mittleren Nennkapazität der Elektro-Neuwagen  $E_{EF,j}$  wird die verfügbare Nennkapazität  $E_{EM,j}$  im Jahr  $j$  gemäß

$$E_{EM,j} = NEM_j \cdot E_{EF,j} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

berechnet. Die *wiederverwendbare Kapazität*  $E_{WV,j}$  berechnet sich mit dem wiederverwendbaren Anteil  $WVR$  gemäß

$$E_{WV,j} = E_{EM,j} \cdot WVR \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

Der Minderungsfaktor der maximalen Entladetiefe  $\eta_{\rho_{\text{mdod}}}$  wird mit der verminderten Entladetiefe von 2nd-Life-Batterien  $\rho_{\text{mdod},2\text{nd}}$  und der maximalen Entladetiefe von herkömmlichen Batterien  $\rho_{\text{mdod},\text{hr}}$  gemäß

$$\eta_{\rho_{\text{mdod}}} = \frac{\rho_{\text{mdod},2\text{nd}}}{\rho_{\text{mdod},\text{hr}}} \quad [-] \quad (3)$$

berechnet. Die Restentladezyklen einer 2nd-Life-Batterie  $LC_{2\text{ndf}}$  berücksichtigen die Kapazitätsausfälle  $f$  unter Einbezug der Nutzungsdauer  $N$  gemäß

$$LC_{2\text{ndf}} = LC_{2\text{nd}} \cdot (1 - f \cdot (N - 1)) + \sum_{k=1}^{N-1} \frac{LC_{2\text{nd}} \cdot f \cdot k}{N} \quad [-] \quad (4)$$

Der Minderungsfaktor für die verfügbaren Entladezyklen  $\eta_{LC}$  ist das Verhältnis der Restentladezyklen  $LC_{2\text{ndf}}$  zu den Entladezyklen eines herkömmlichen Speichers ab Werk  $LC_{\text{hr}}$  gemäß

$$\eta_{LC} = \frac{LC_{2\text{ndf}}}{LC_{\text{hr}}} \quad [-] \quad (5)$$

Die im Jahr  $j$  substituierbare Nennkapazität  $E_{SB,j}$  wird schließlich mit den Minderungsfaktoren  $\eta_{\rho_{\text{mdod}}}$  und  $\eta_{LC}$  gemäß

$$E_{SB,j} = E_{WV,j} \cdot \eta_{\rho_{\text{mdod}}} \cdot \eta_{LC} \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

berechnet. Die substituierbare Nennkapazität dient als wesentliche Eingabegröße zur Berechnung des Umweltnutzens. In Tabelle 1 sind die verwendeten Zahlenwerte der Basis-Parameter wiedergegeben.

*Tabelle 1. Zusammenfassung der Parameter und der in der Studie verwendeten Werte; diese sind über die Betrachtungsdauer von 25 Jahren als konstant angenommen*

*Table 1. Overview of the parameters and values used in this study; this are assumed to be constant over the observation period (25 years)*

Parameter		Wert
Wiederverwendbarer Anteil	$WVR$	0.95 [-]
Verminderte Entladetiefe 2nd-Life	$\rho_{\text{mdod},2\text{nd}}$	0.6 [-]
Entladetiefe herkömmlich	$\rho_{\text{mdod},\text{hr}}$	0.8 [-]
Entladezyklen herkömmlich	$LC_{\text{hr}}$	5000 [-]
Restentladezyklen 2nd-Life	$LC_{2\text{nd}}$	1000 [-]
Kapazitätsausfallrate jährlich	$f$	0.01 [-]
Nutzungsdauer 2nd-Life	$N$	5 [-]

### 3.2 Umweltauswirkung

In einer Ökobilanz werden gemäß den Grundsätzen und Rahmenbedingungen nach ISO 14040:2006 die ökologischen Vorteile von gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen gegenüber herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien als stationäre Stromspeicher verglichen. Dabei wird unter Berücksichtigung der in Abschn. 2.2 beschriebenen energiepolitischen Szenarien der gesamte Le-

benszyklus der Batterien von der Herstellung bis zur Entsorgung untersucht. Als funktionelle Einheit dient eine kWh Speicherkapazität. Die Durchführung erfolgt mit der Simapro Software und der ecoinvent v2.2. Datenbank.

Folgende Wirkindikatoren werden für die Berechnung des Umweltnutzens angewendet: Treibhauspotenzial (GWP) mit einem Zeithorizont von 100 Jahren gemäß Weltklimarat (IPCC 2007) [18], Kumulierter Energieaufwand (CED) [19] sowie der Abiotische Ressourcenverbrauch (ADP), Wirkungskategorie aus der CML 2001-Methode [20]. Als Summenindikator wird die Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006 (UBP) [21] angewendet, bei dem alle Umweltwirkungen nach in der Schweiz gültigen umweltpolitischen Gesichtspunkten gewichtet und zusammengefasst sind.

#### Modifikation Sachbilanzen

Für die Analyse der beschriebenen Szenarien werden die Prozesse zur Herstellung von Li-Ionen-Batterien aus der ecoinvent v2.2 an die entsprechenden Rahmenbedingungen angepasst.

Der „Batterie-Prozess“ zeigt, dass die für einzelne Produktionsschritte benötigte Elektrizität wesentlichen Anteil an der Umweltbelastung hat; beim CED sind 48 %, beim GWP 43 %, beim ADP 39 % und bei den UBPs 13 % der jeweils ausgewiesenen Umweltbelastung der verwendeten Elektrizität zuzuschreiben. Den größten Anteil an den UBPs haben mit rund 55 % die Prozesse der Kupfergewinnung zur Fabrikation der Anode. Die meisten UBPs werden dabei durch das Schmelzen von Kupferkonzentrat zur Gewinnung von Rohkupfer verursacht. Für die durchgeführten Berechnungen werden daher die in der ecoinvent v2.2 hinterlegten Prozesse hinsichtlich der Elektrizität und der Kupfergewinnung wie nachstehend beschrieben modifiziert.

#### Elektrizität

Es werden diejenigen Teilprozesse modifiziert, die in Bezug auf CED und GWP den größten Einfluss haben. Damit werden rund 61 % der für die Herstellung benötigten Elektrizität abgedeckt (3,09 kWh pro kg Batterie). Die restlichen 39 % Elektrizitätsanteil können mit einem zumutbaren Aufwand nicht angepasst werden, da diese mit jeweils geringsten Mengen auf eine sehr große Anzahl Teilprozesse verteilt sind.

Die Anpassung erfolgt durch den Ersatz des auf der Grundlage aktueller regionaler Produktionsmixe bestehenden Strommixes. Der Strommix wird mit zukünftigen, globalen Strommischen aus den IEA-Szenarien des „World Energy Outlooks 2013“ (WEO) [22] und den „Energy Technologies Perspectives 2012“ (ETP) [23] ersetzt. Hierfür werden die IEA-Szenarien den entsprechenden Szenarien der EP 2050 zugeordnet: Der Strommix im Szenario NEP kommt dem „450 Szenario“, das Szenario POM dem „New Policies Scenario“ und das Szenario WWB dem „Current Policies Scenario“ gleich. Die Szenarien POM und NEP werden mit dem jeweiligen neuen Strommix berechnet. Beim Szenario WWB wird auf eine Anpassung der Prozesse verzichtet, da das dem WWB korrespondierende Szenario „Current policies“ aus dem WEO niedrigere Anteile an Erneuerbaren aufweist als der Strommix aus dem Originalprozess der Batterie.

In den IEA-Szenarien werden in einem gewissen Teil der Kohle- und Gaskraftwerke-Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung berücksichtigt (CCS). In den entsprechenden Prozessen zur Erzeugung von Kohle- und Gasstrom mit CCS werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 10 % des ursprünglichen Wertes gemäß [24] gesetzt.

Es wird außerdem eine Wirkungsgradsteigerung der Kohle- und Gaskraftwerke gemäß [25], [26] und [27] unterstellt. Bei den anderen Prozessen wird auf eine Steigerung des Wirkungsgrades aufgrund des geringeren Einflusses auf die Umweltauswirkungen verzichtet. Die getroffenen Anpassungen des Wirkungsgrades sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2. Modifikation Wirkungsgrade der Kohle- und Gaskraftwerke (GuD) in den betrachteten Szenarien  
Table 2. Efficiency modifications of the coal- and gas-fired power plants in the scenarios considered

Kraftwerktyp	Original-Prozess	NEP/POM 2035	NEP/POM 2050
Kohle	36 %	40 %	45 %
Kohle CCS		36 %	41 %
Gas	43 %	45 %	50 %
Gas CCS		41 %	46 %

### Kupfergewinnung

Aufgrund der relevanten Umweltauswirkungen des für die Produktion der Anode verwendeten Kupfers in Bezug auf die UBPs wird bei POM und NEP der Recyclinganteil des Kupfers von 33 % auf 50 % erhöht. Im Szenario WWB werden die Kupferprozesse nicht modifiziert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Substituierbare Kapazität

Bild 4 zeigt, wie viele kWh 2nd-Life-Batterien nötig sind, um eine kWh herkömmlichen Speicher ersetzen zu können. Die Darstellung entspricht dem in Bild 3 vorgestellten Modell und zeigt, dass E<sub>WV,j</sub> mit den in Tabelle 1 genannten Parametern rund 700 % von E<sub>SB,j</sub> entspricht.

Die wiederverwendbare Kapazität von 6,8 kWh wird jedoch nicht vollständig bei der Erstinstallation des 2nd-Life-Speichers eingesetzt. Sie berücksichtigt gemäß Gl. (6) den Ersatz einzelner Batterien im 2nd-Life-Speicher in-

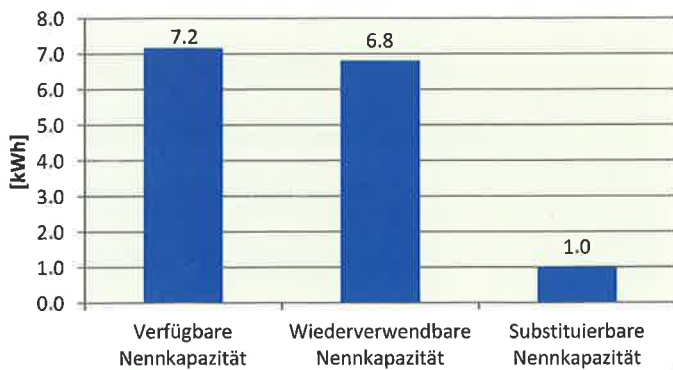


Bild 4. Substitution von einer kWh herkömmlichen Speicher ( $\eta_{P_{mdod}} = 0,75$  und  $\eta_{LC} = 0,20$ )  
Fig. 4. Substitution of one kWh conventional energy storage ( $\eta_{P_{mdod}} = 0.75$  and  $\eta_{LC} = 0.20$ )

folge von Kapazitätsausfällen und der reduzierten Nutzungsdauer gegenüber herkömmlichen Speichern sowie die reduzierte maximale Entladetiefe. Dieser Sachverhalt ist in Bild 5 exemplarisch dargelegt.

In Bild 6 ist die Anzahl der Elektro-Neuwagen und die daraus resultierende substituierbare Kapazität E<sub>SB,j</sub> für die drei betrachteten Szenarien wiedergegeben. Mit der hier zugrunde gelegten Nutzungsdauer der Batterien in der

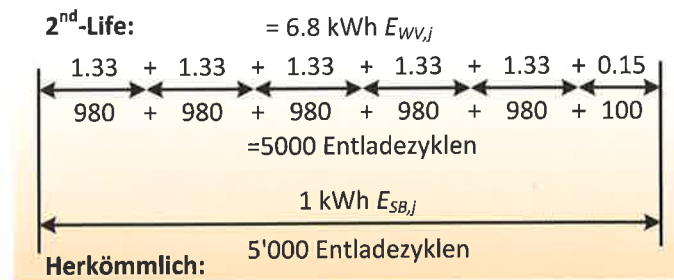


Bild 5. Vergleich Substituierbare Nennkapazität und Wiederverwendbare Nennkapazität

Fig. 5. Comparison of the substitutable rated capacity and the reusable rated capacity

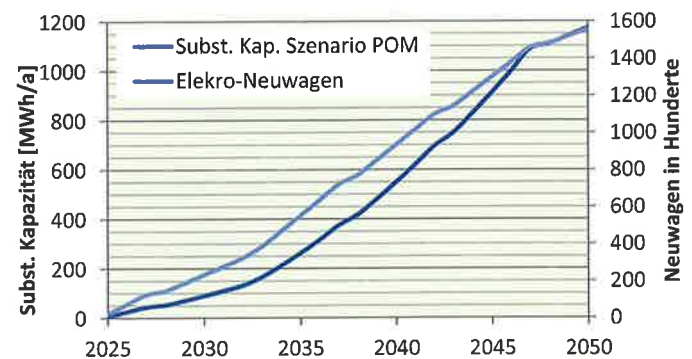
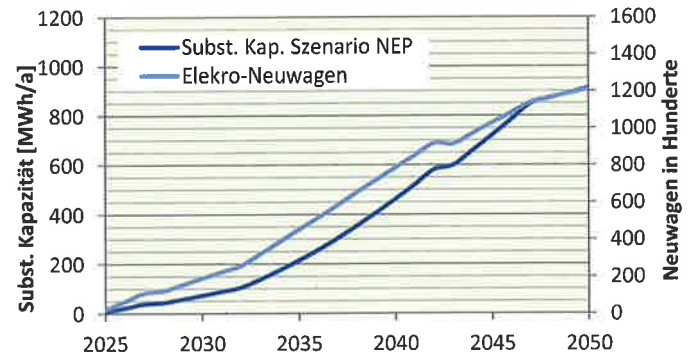
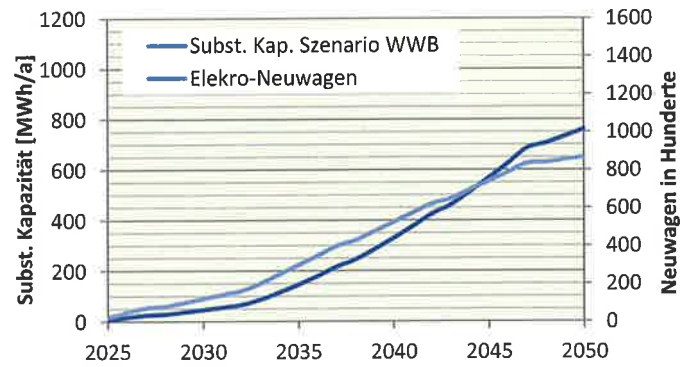


Bild 6. Entwicklung der Anzahl Elektro-Neuwagen und der substituierbaren Kapazität

Fig. 6. Development of the number of EV and the substitutable capacity

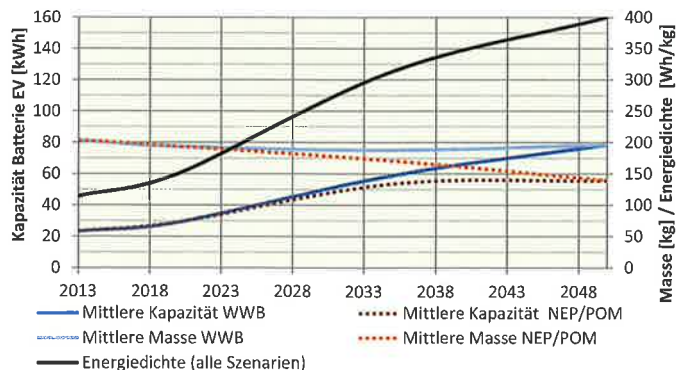


Bild 7. Entwicklung der mittleren Batteriekapazität, der entsprechenden Batteriemasse und der Energiedichte  
 Fig. 7. Development of the mean battery capacity, the corresponding battery mass and the energy density

Mobilität von T = 12 Jahren stammen die 2nd-Life-Batterien zu Beginn der Betrachtungsdauer (das Jahr 2025) von den Neuwagen des Jahrgangs 2013 und die zum Ende der Betrachtungsdauer (das Jahr 2050) von den Neuwagen des Jahrgangs 2038.

Gut ersichtlich ist der direkte Zusammenhang zwischen der substituierbaren Kapazität und der Anzahl Elektro-Neuwagen.

In Bild 7 ist die mittlere Nennkapazität pro EV abgebildet. Im Szenario WWB steigt die mittlere Nennkapazität wegen der gleichbleibenden Flottenstruktur und des höheren Anteils an BEV gegenüber den PHEV und FCV stärker an als in den Szenarien NEP/POM. In den Szenarien NEP/POM dagegen findet eine Entwicklung hin zu kleineren Fahrzeugklassen statt.

Die substituierbare Kapazität im Szenario WWB beträgt im Jahr 2035 ca. 150 MWh und im Jahr 2050 rund

760 MWh, während diese im Szenario NEP im Jahr 2035 etwa 210 MWh und 2050 ca. 910 MWh beträgt. Im Szenario NEP ist im Vergleich mit WWB somit die substituierbare Kapazität 2035 40 % höher, während die Anzahl Neuwagen um 52 % höher ist. 2050 beträgt die substituierbare Kapazität 20 % mehr und die Anzahl Neuwagen 40 % mehr als im Szenario WWB. Dieser Umstand ist auf die höhere mittlere Kapazität der EV im Szenario WWB zurückzuführen. Das Szenario POM weist die höchste substituierbare Kapazität auf: 2035 sind es ca. 260 MWh und 2050 rund 1.170 MWh. Dies liegt daran, dass das Szenario POM eine Zunahme der Pkw-Flotte auf 5 Mio. Fahrzeuge (wie in WWB) aufweist und denselben hohen Anteil an EV erreicht wie das Szenario NEP (vgl. dazu auch Bild 1).

#### 4.2 Umweltauswirkungen der Batterien

Bild 9 zeigt zur Veranschaulichung die Reduktion der Umweltauswirkungen anhand des Treibhauspotenzials GWP durch die Modifikationen der Sachbilanz wie in Abschnitt 3.2 beschrieben. Im Szenario NEP wird gegenüber der Batterieherstellung heute das Treibhauspotenzial im Jahr 2035 um 14,6 % und im Jahr 2050 um 21,4 % gesenkt. Im Szenario POM beträgt die Reduktion 1,7 % und 6,2 % für die Jahre 2035 und 2050. Die stärkere Reduktion im Szenario NEP verglichen mit POM ist insbesondere auf den höheren Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix zurückzuführen. Da im Szenario WWB auf eine Anpassung der Sachbilanz verzichtet wird, sind hier die Umweltauswirkungen in den Jahren 2035 und 2050 gleich hoch veranschlagt, wie im Jahr 2013.

Bild 8 zeigt die Reduktion pro kWh Speicherkapazität durch die Modifikation der Sachbilanz geordnet nach den vier Wirkindikatoren. Die Anteile der Kupfergewinnung

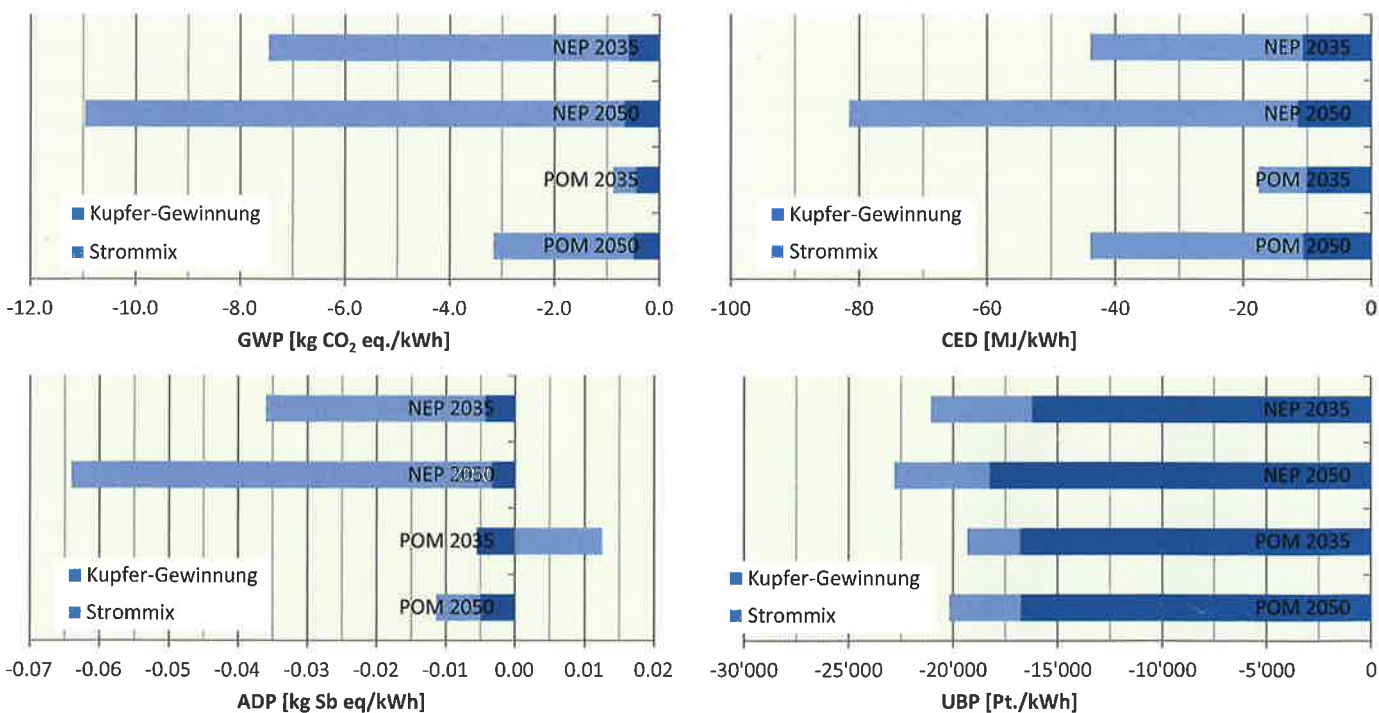


Bild 8. Reduktion von GWP, CED, ADP und UBP in der funktionellen Einheit pro kWh Speicherkapazität in den Szenarien NEP und POM gegenüber heutigen Batterien infolge der Anpassung von Strommix und Kupfer-Gewinnung  
 Fig. 8. Reduction of the GWP, CED, ADP and UBP by the electricity mix and the copper exploitation modifications in the functional unit per kWh Storage capacity in the scenarios NEP and POM compared to contemporary batteries

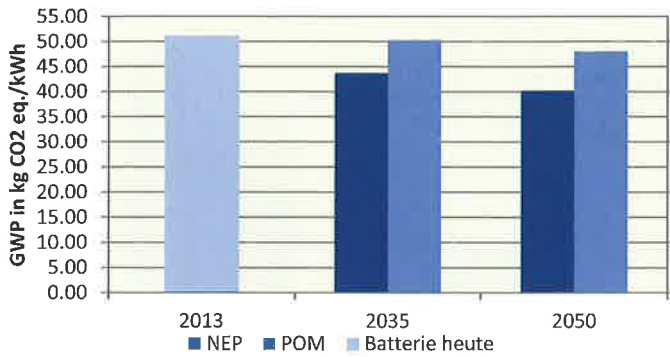


Bild 9. Reduktion Umweltauswirkungen von Batterien durch Berücksichtigung der Zukunftsszenarien hinsichtlich Strommix und Kupfer-Gewinnung

Fig. 9. Environmental Impact reduction of the batteries by the electricity mix and the copper exploitation modifications

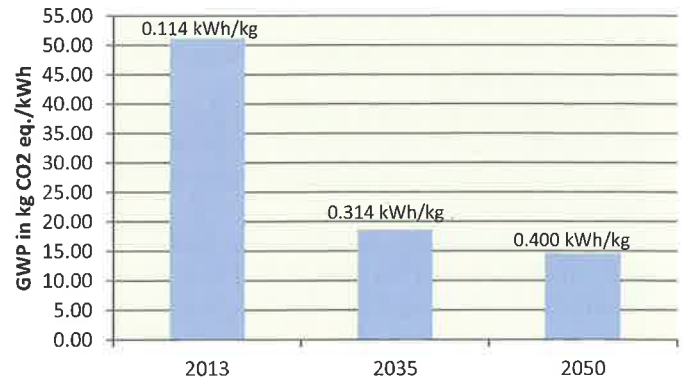


Bild 10. Reduktion GWP von Li-Ionen-Batterien durch die erwartete Steigerung der Energiedichte

Fig. 10. Reduction GWP of lithium-ion batteries by the energy density increase

und des Strommixes sind dabei additiv aufgetragen. Wie zu erwarten verursacht die Anpassung der Sachbilanz im Szenario NEP die größten Veränderungen. Dies ist auf den höchsten Anteil an erneuerbaren Energien zurückzuführen. Die Veränderungen bei dem Szenario POM liegen bis auf die UBPs wesentlich niedriger als bei NEP.

Im Jahr 2035 des Szenarios POM haben die Anpassungen der Sachbilanzen eher geringe Auswirkungen auf das Ergebnis. Hinsichtlich des ADP bewirkt die Anpassung sogar eine Erhöhung. Dies wird durch die Tatsache verursacht, dass im Szenario POM der Strommix 2035 zu 31 % und 2050 zu 36 % aus erneuerbaren Energien besteht, in den regionalen Strommixdaten der ecoinvent v2.2 sind dies bereits 34 %. Aus diesem Grund sind im Szenario POM keine wesentlichen Verbesserungen zu verzeichnen.

Aufgrund des gleich hohen Anteils an Sekundärkupfer in den zwei modifizierten Szenarien zeigen die UBPs zwischen den Szenarien NEP und POM bzw. zwischen den Jahren 2035 und 2050 nur geringe Unterschiede.

In Bild 10 ist die Reduktion der Umweltauswirkungen durch die Zunahme der Energiedichte dargestellt. Die Steigerung der Energiedichte senkt das Treibhauspotential pro kWh Speicherkapazität im Jahr 2035 um ca. 64 % und im Jahr 2050 um rund 71 %. Für die anderen drei in dieser Studie verwendeten Wirkindikatoren ergibt sich eine vergleichbare relative Reduktion.

Betrachtet man die Umweltauswirkungen unter Berücksichtigung aller hier betrachteten zu erwartenden Entwicklungen (Strommix, Kupfergewinnung und Energiedichte), ergibt sich folgendes Bild (s. Bild 11):

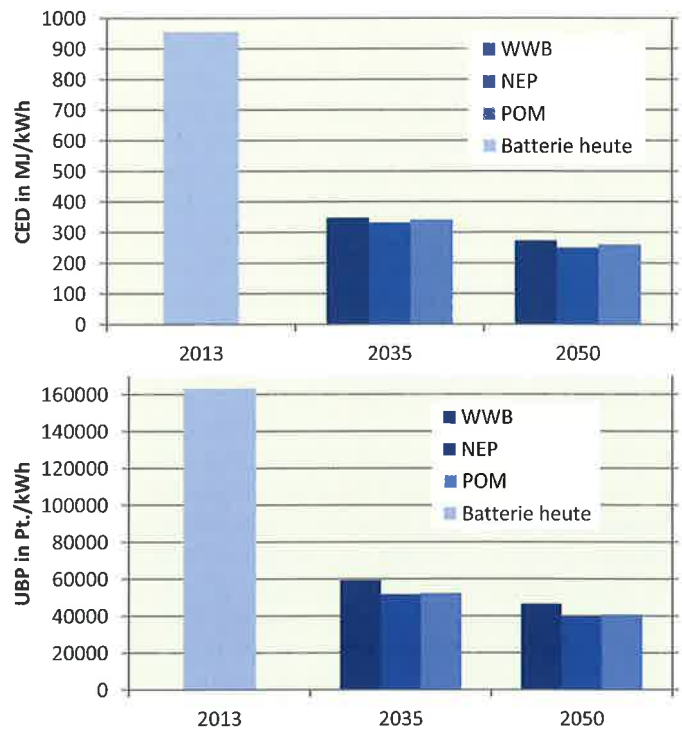
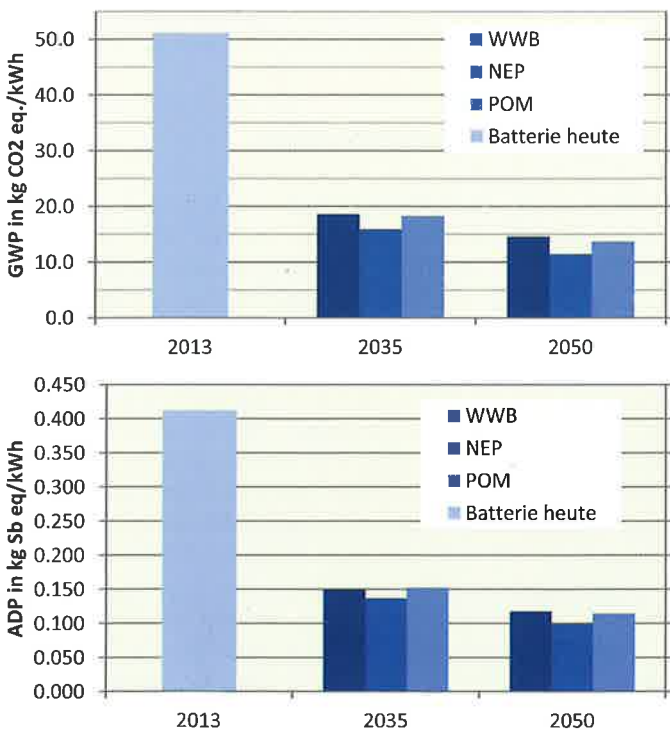


Bild 11. GWP, CED, ADP und UBP in der funktionellen Einheit pro kWh Speicherkapazität heute und in den drei Szenarien. In der zukünftigen Batterie sind die Modifikationen der Prozesse hinsichtlich Strommix und Kupfer-Gewinnung sowie die Energiedichtesteigerung berücksichtigt.

Fig. 11. GWP, CED, ADP and UBP in the functional unit per kWh Storage capacity today and in the three scenarios. The future Battery considers the electricity mix modification, the copper exploitation modification and the energy density increase

- Im Szenario WWB gilt für alle Wirkindikatoren die Reduktion wie im vorhergehenden Absatz zur Energiedichte beschrieben.
- Die Reduktion des GWP beträgt für das Szenario NEP im Jahr 2035 69 % und im Jahr 2050 78 % gegenüber dem heutigen Wert. Im Szenario POM beträgt die Reduktion 64 % resp. 73 %.
- Beim CED beträgt die Reduktion im Szenario NEP im Jahr 2035 65 % und im Jahr 2050 74 %. Das Szenario POM weist eine Reduktion im Vergleich zur heutigen Batterie von 64 % und 73 % im 2035 bzw. 2050 auf.
- Die Reduktion des ADP erreicht gegenüber einer heutigen Batterie im Jahr 2035 67 % und im Jahr 2050 76 % (Szenario NEP) bzw. 63 % und 72 % (Szenario POM).
- Die UBPs der Batterien reduzieren sich gegenüber heutigen im Szenario NEP um 68 % (2035) und 76 % (2050). Im Szenario POM reduzieren sich die UBPs um 68 % (2035) und 75 % (2050).

In allen drei Szenarien und bei allen vier Wirkindikatoren beruht die Reduktion der Umweltauswirkungen überwiegend auf der erwarteten Energiedichtesteigerung. Dies geht auch aus dem Vergleich von Bild 9 und Bild 10 hervor.

### 4.3 Umweltnutzen aus der substituierbaren Kapazität

Die im vorangegangenen Abschnitt für die Jahre 2035 und 2050 genannten Umweltauswirkungen beziehen sich jeweils auf die Herstellung von Neubatterien in den genannten Jahren. Diese Umweltauswirkungen können durch Substitution der Neubatterien mit 2nd-Life-Batterien vermieden werden. Damit hat der Einsatz von 2nd-Life-Batterien einen Umweltnutzen.

In Bild 12 sind die Ergebnisse zum Umweltnutzen bezüglich des GWP, des CED und des ADP wiedergegeben. Die Untersuchungen zeigen, dass der Umweltnutzen von 2nd-Life-Batterien beim Szenario POM hinsichtlich aller Wirkindikatoren am höchsten ausfällt. Beim Szenario WWB ist – mit Ausnahme des GWP im Jahre 2050 – der ermittelte Umweltnutzen am geringsten. Alle drei genannten Wirkindikatoren weisen im Jahr 2050 in den Szenarien NEP und WWB praktisch denselben Nutzen aus. Dies liegt daran, dass sich die Umweltauswirkung pro kWh Neubatterie im Szenario NEP im Vergleich zum Szenario WWB bis zum Jahr 2050 stetig reduziert und somit ebenso das Vermeidungspotenzial durch Substitution sinkt. Beim Szenario WWB können bezüglich GWP im Jahr 2050 rund 11.100 t CO<sub>2</sub> Äq. eingespart werden. Das entspricht etwa dem aktuellen jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 890 Schweizer Einwohnern und 1280 Einwohnern (16.000 t CO<sub>2</sub> Äq.) im Szenario POM (12,5 t CO<sub>2</sub> Äq. pro Einwohner). Im Szenario WWB umfasst das Vermeidungspotenzial 2050 durch Substitution hinsichtlich CED rund 207.000 GJ. Das entspricht etwa dem Heizwert von 14.000 t Holz (14,4 MJ/kg). Beim Szenario POM kommt dies dem Heizwert von rund 21.000 t Holz (305.000 GJ, CED) gleich. 2050 werden im Szenario WWB etwa 89 t Sb Äq und im Szenario POM ca. 134 t Sb Äq. vermieden, dies entspricht in etwa dem ADP bei der Herstellung von vier respektive sechs Intercity Express Zügen ecoinvent v2.2. Die Ergebnisse zu den UBPs sind hier wegen der bedingten Vergleichbarkeit nicht wiedergegeben.

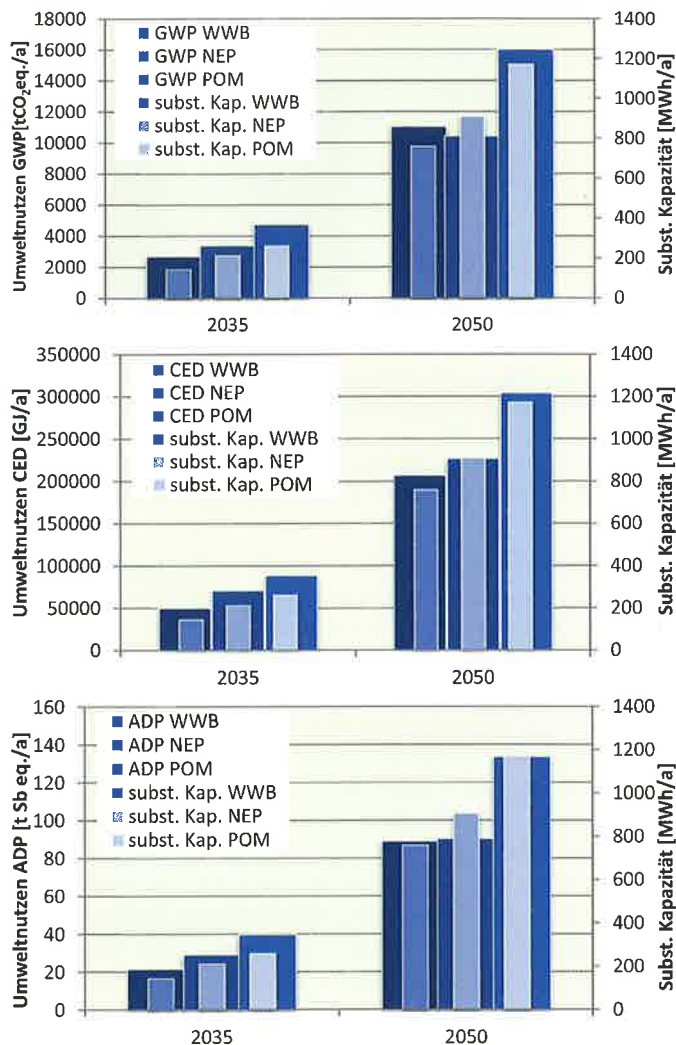


Bild 12. Umweltnutzen und substituierbare Nennkapazität  
Fig. 12. Environmental benefit and substitutable rated capacity

### 5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Das Potenzial von 2nd-Life-Speichern ist in allen drei Szenarien als sehr hoch anzusehen. Bereits 2014 waren in Deutschland ca. 15.000 Solarstromspeicher installiert [28]. Bei einer angenommen durchschnittlichen Kapazität von 5 kWh für Mikrospeicher mit dezentralem Einsatzgebiet in Privathaushalten und Kleingewerben entspricht das einer Kapazität von 75 MWh. Allein im Szenario mit der niedrigsten substituierbaren Kapazität (WWB) steigt die substituierbare Kapazität von 150 MWh im Jahr 2035 auf 760 MWh im Jahr 2050. Das entspricht etwa 30.000 respektive 152.000 Speichern mit 5 kWh Nennkapazität. Das Szenario POM weist im Jahr 2050 bei 1170 MWh ein Substitutionspotential von 234.000 Speichern auf. In der Schweiz gibt es laut Bundesamt für Statistik (BFS) rund 1,7 Mio. Wohngebäude. Somit könnte für das Szenario POM im Jahr 2050 bei gleichem Gebäudebestand in 14 % davon ein 2nd-Life-Speicher stehen.

In einer Mitteilung vom 27.2.2015 kommunizierte der schweizerische Bundesrat die Absicht, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 70 bis 85 % gegenüber 1990 senken zu wollen. Dies entspricht dem Szenario NEP. Die Reduktion belief sich bei diesem Ziel auf 1,78 Mio. t CO<sub>2</sub> Äq. jährlich von 94 Mio. t CO<sub>2</sub> Äq. im Jahr 2010 auf 23 Mio. t CO<sub>2</sub> Äq. im



Jahr 2050 (inklusive Import von Gütern und Dienstleistungen). Der in dieser Studie berechnete Umweltnutzen durch 2nd-Life bezüglich GWP könnte im Jahr 2035 mit 0,15 % (WWB) bis 0,27 % (POM) und im Jahr 2050 0,59 % (NEP) bis 0,90 % (POM) an der jährlichen Reduktion beteiligt sein.

Das Prinzip der substituierbaren Kapazität betrachtet die Angebots- sowie Nachfrageseite von 2nd-Life-Speichersystemen. Der hier betrachtete Umweltnutzen durch die Substitution herkömmlicher durch gebrauchte EV-Batterien kann natürlich nur dann realisiert werden, wenn eine Nachfrage nach Speichern besteht. In allen drei Szenarien der Energieperspektiven 2050 steigt der Strompreis [13]. Dadurch nimmt der finanzielle Anreiz zu, den Eigendeckungsgrad in Gebäuden mit PV-Anlage durch Solarstromspeicher zu erhöhen. Außerdem erhöht sich in allen Szenarien der Anteil von fluktuierenden erneuerbaren Energien wie PV beträchtlich (s. Tabelle 3). Ein System von EV kombiniert mit erneuerbaren Energien kann deshalb dazu beitragen, die Umweltbelastung gegenseitig zu senken: Elektrofahrzeuge werden mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben, während der Strom aus erneuerbaren Quellen in Speichern aus 2nd-Life-Batterien sinnvoll zwischengespeichert wird. Zudem wird wie in dieser Studie gezeigt die Umweltbelastung durch Li-Ionen-Batterien infolge der 2nd-Life-Nutzung vermindert.

*Tabelle 3. Anteil erneuerbarer Energien (ohne Wasserkraft) an der mittleren Bruttoerzeugung in den drei Szenarien der EP 2050*  
Table 3. Share of renewables (without hydropower) in the mean gross electricity production in the EP 2050 scenarios.

Anteil erneuerbar	2010	2035	2050
WWB	2 %	8–15 %	12–29 %
NEP	2 %	9–20 %	16–34 %
POM	2 %	9–20 %	14–34 %

Neben ökonomischen Aspekten ist damit zu rechnen, dass außerdem aus technischen Gründen die Nachfrage nach Solarstromspeichern zunehmen wird. Beispielsweise können Produktionsspitzen bei hoher Einspeiseleistung solar generierter Elektrizität zur Mittagszeit im Sommer mit dezentralen Stromspeichern geglättet werden. Zu diesen zählen Mikro- und kleintechnische Speicher mit einer Ladeleistung < 10 MW und einer Speicherdauer von Sekunden bis Tage [29]. Die in vorliegendem Beitrag untersuchten Solarstromspeicher fallen in diese Kategorie. Gemäß [30] besteht spätestens ab 2035 in allen drei Szenarien ein erhöhter technischer Speicherbedarf, um die genannten Produktionsspitzen auffangen zu können. Dieselbe Studie kommt zu Schluss, dass dezentrale Speicher aus volkswirtschaftlicher Sicht die kostengünstigste Variante im Vergleich zu alternativen Möglichkeiten (z. B. Netzausbaumaßnahmen oder Lastgangmanagement des Eigenverbrauchs) darstellen können. Durch den hohen zukünftigen Anteil an EV in den Szenarien kann ein wesentlicher Teil dieses Speicherbedarfs mit gebrauchten Batterien gedeckt werden. Wie weit der zukünftige technische Speicherbedarf durch 2nd-Life-Batterien gedeckt werden kann, wird ebenfalls im Rahmen des Projekts 2nd-Life untersucht [8]. Dezentrale Speicher aus 2nd-Life-Batterien stellen mit dem dargelegten Umweltnutzen damit eine umweltverträg-

liche Speichervariante dar. Notwendige Rahmenbedingungen und Betriebsführungen für eine ökonomische Konkurrenzfähigkeit werden in [30] untersucht.

Der in dieser Studie angenommene lineare Zusammenhang von Umweltauswirkungen und Energiedichte ist vereinfacht. Eine markante Energiedichtesteigerung von 0,114 kWh/kg im Jahr 2013 auf 0,4 kWh/kg im Jahr 2050 wird ebenso durch die Einführung neuer Technologien verursacht (z. B. Lithium-Silizium-Anoden oder Lithium-Schwefel-Kathoden) [17]. Dadurch ist anzunehmen, dass sich die Umweltauswirkungen aufgrund unterschiedlicher Herstellungsprozessen der Batterie sowie unterschiedlicher Gewinnung und Verfügbarkeit der Ressourcen nicht linear zur Energiedichte verhalten.

## Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Gebäudeintegration von gebrauchten Batterien als 2nd-Life-Stromspeichersysteme“ erarbeitet und durch das Bundesamt für Umwelt BAFU, Ittigen (Schweiz), unter den Förderkennzeichen UTF 473.03.14 gefördert.

## Literatur

- [1] Notter, D. A., Gauch, M., Widmer, R., Wager, P., Stamp, A., Zah, R., Althaus, H.-J.: Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles. *Environ. Sci. Technol.* 17 (2010), Nr. 44, pp. 6550–6556.
- [2] Ahmadi, L., Yip, A., Fowler, M., Young, S. B., Fraser, R. A.: Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 6 (2014), Nr. 6, pp. 64–74.
- [3] Tong, S. J., Same, A., Kootstra, M. A., Park, J. W.: Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation. *Appl. Energy* 104 (2013), April, pp. 740–750.
- [4] Faria, R., Marques, P., Garcia, R., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., Anibal, T.: Primary and secondary use of electric mobility batteries from a life cycle perspective. *J. Power Sources* (2014), H. 262, pp. 169–177.
- [5] Alimisis, V., Hatziaargyriou, N. D.: Evaluation of a Hybrid Power Plant Comprising Used EV-Batteries to Complement Wind Power. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 4 (2013), no. 2, pp. 286–293.
- [6] Debnath, U. K., Ahmad, I., Habibi, D.: Quantifying economic benefits of second life batteries of gridable vehicles in the smart grid. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* (2014), vol. 63, pp. 577–587.
- [7] Neubauer, J., Pesaran, A.: The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications. *J. Power Sources* 23 (2011), nr. 196, pp. 10351–10358.
- [8] FHNW-HABG: 2<sup>nd</sup>-Life-Speicher. Fachhochschule Nordwestschweiz, 2015. Online Abrufbar unter: <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppe-bau/2nd-life-speicher>.
- [9] auto-schweiz. Autoverkäufe nach Marken. Bern, 2014.
- [10] e'mobile: Markt der Eco-Mobile: Aktualitäten und Trends 2014. Bern: e'mobile, 2014.
- [11] e'mobile, Jahresbericht 2013. Bern: e'mobile, 2014.
- [12] TCS: Elektromobilität: Paradigmenwechsel steht bevor. 2014. [Online]. Abrufbar unter: <http://www.tcs.ch/de/automobilitaet/umwelt-energie/elektromobilitaet.php>.
- [13] prognos: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050: Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050. Basel: Bundesamt für Energie, 2012.

- [14] *Karstedt, J.*: Batterie oder Brennstoffzelle für Elektromobilität. Bundesverband eMobilität e.V. (BEM), 2012. Online abrufbar unter: <http://www.bem-ev.de/batterie-oder-brennstoffzelle-fur-elektromobilitat/>.
- [15] Protoscar: Specifications. Protoscar, 2010.
- [16] *Althaus, H.-J., Bauer, C.*: Gegenüberstellung verschiedener aktueller Schweizer Ökobilanzstudien im Bereich Elektromobilität: Schlussbericht. Dübendorf und Villingen: EMPA/PSI, 2011.
- [17] *Duleep, G., van Essen, H., Kampmann, B., Grüning, M.*: Impacts of Electric Vehicles – Deliverable 2: Assessment of electric vehicle and battery technology. Delft: ICF International, Ecologic institute, 2011.
- [18] *Wolf, M.-A., Pant, R., Chomkham Sri, K., Sala, S., Pennington, D.*: The International reference Life Cycle Data system (ILCD) handbook: Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. Luxembourg, 2012.
- [19] *Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert Sébastien, Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T.*: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods:ecoinvent report No. 3, v2.1. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2009.
- [20] *Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., van der Ven, B. L., Weidema, B. P.*: Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards, Part 3: Scientific Background. Den Haag und Leiden, Niederlande: Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science, 2001.
- [21] *Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N.*: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006: Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen. Bern: Bundesamt für Umwelt, 2009.
- [22] Renewable Energy Outlook: Chapter 6. Paris Cedex: International Energy Agency, 2013.
- [23] Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System. Paris Cedex: International Energy Agency, 2012.
- [24] Technology Roadmap – High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation. Paris Cedex: International Energy Agency, 2012.
- [25] Gaskombikraftwerk (GuD). Aarau: Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, 2012.
- [26] Kohlekraftwerke. Aarau: Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, 2013.
- [27] CO<sub>2</sub>-Abscheidung (Carbon Capture and Storage, CCS). Aarau: Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, 2013.
- [28] BSW: Rekordjahr für Solarstrom und Speicher. Die Sonne Speichern, 08-Jan-2015. Online abrufbar unter: <http://die-sonne-speichern.de/pressemeldungen/rekordjahr-fuer-solarstrom-und-speicher/>.
- [29] KEMA: Energiespeicher in der Schweiz: Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050. Bonn: BFE, 2013.
- [30] *Menn, C., Geissler, A.*: Electric Vehicle Batteries in Energy Storage Systems: An Economic Analysis for Swiss Residents. Accepted at CISBAT, September 2015, Lausanne, Switzerland. Unpublished conference paper. Institut Energie am Bau, Muttenz 2015.

**Autoren dieses Beitrages:**

Dipl.-Ing. David Kim, BSc in Umweltingenieurwesen  
Dornacherstrasse 159, CH-4053 Basel

Prof. Dr.-Ing. Achim Geissler  
Leiter Fachgruppe Bau  
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik HABG  
Institut Energie am Bau  
St. Jakobs-Strasse 84, CH-4132 Muttenz

Dipl.-Wirt.-Ing. MSc in Sustainable Development Claudio Menn  
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik HABG  
Institut Energie am Bau  
St. Jakobs-Strasse 84, CH-4132 Muttenz

Dipl.-Ing. MSc in Umwelttechnik und Management Dirk Hengevoss  
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Hochschule für Life Science HSL  
Institut für Ecopreneurship  
Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz

**Aktuell**

**Kernstudium des Bauingenieurwesens an Hochschulen für angewandte Wissenschaften**

Für das Bachelorstudium im Bauingenieurwesen an Hochschulen für angewandte Wissenschaften haben sich die Fachbereiche und Fakultäten des Bauingenieurwesens an HAW in Deutschland auf einheitliche Standards verständigt. Diese wurden im Rahmen des Fachbereichstages Bauingenieurwesen bereits 2013 verabschiedet und jetzt als gedruckte Publikation wie auch digital unter dem Titel „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens an Hochschulen für

angewandte Wissenschaften“ veröffentlicht. Sie beschreiben das alle Studierenden des Bauingenieurwesens an HAW betreffende Kernstudium und beruhen auf einer lernergebnis- und studierendenzentrierten Sichtweise der Hochschulausbildung.

Für die Bereiche Grundlagen, Konstruktiver Ingenieurbau, Wasserwesen/Abfallwirtschaft, Verkehrswesen/Raump lanung sowie Baumanagement wurden Modulgruppen und Mindest-Studienanteile definiert und Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen, die Studierende erwerben sollen, beschrieben.

Für Absolventinnen und Absolventen wie auch für die Bauwirtschaft soll damit ein hohes Maß an Verlässlichkeit

hinsichtlich der Qualifikation des Ingenieur nachwuchses sichergestellt werden.

Das PDF-Dokument „Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Kernstudium von Bachelorstudiengängen des Bauingenieurwesens an Hochschulen für angewandte Wissenschaften“ ist auf der Website des Fachbereichstages Bauingenieurwesen [www.fbtbi.de](http://www.fbtbi.de) unter „Veröffentlichungen“ zum Download bereitgestellt.

Für weitere Informationen steht Prof. Dr.-Ing. *Niels Oberbeck*, Vizepräsident für Studium und Lehre der TH Nürnberg ([niels.oberbeck@th-nuernberg.de](mailto:niels.oberbeck@th-nuernberg.de)), zur Verfügung.

Prof. Dr.-Ing. *Horst Werkle*