

ENERGIEFORSCHUNGSGESPRÄCHE 2020

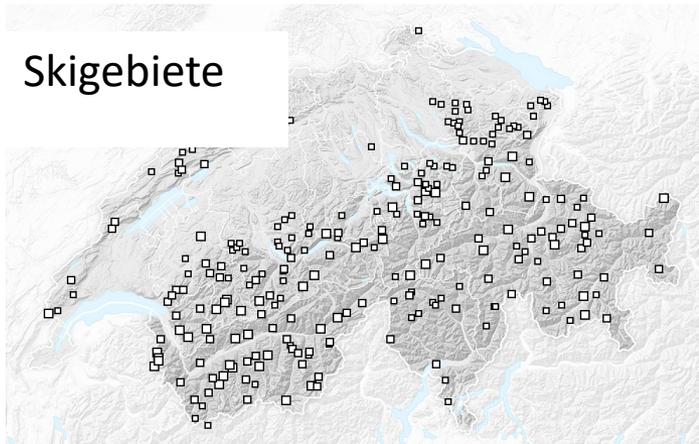
Untersuchungen zum Einsatz von Energiespeichern in alpinen Ski- und Wandergebieten

Prof. Claudia Werner und Dr. Ivo Schillig

Disentis, den 23.01.2020

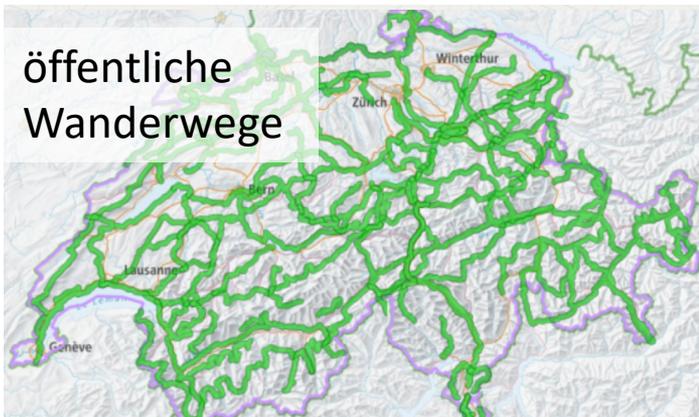
1 Motivation und Untersuchungsansatz

→ **Ski- und Wandergebiete in der Schweiz**



Anzahl der Schweizer Skigebiete: 251 Stück
öffentliche Wanderwege: > 60.000 km

→ **steigende Anteile der installierten Leistung von Photovoltaiksystemen**

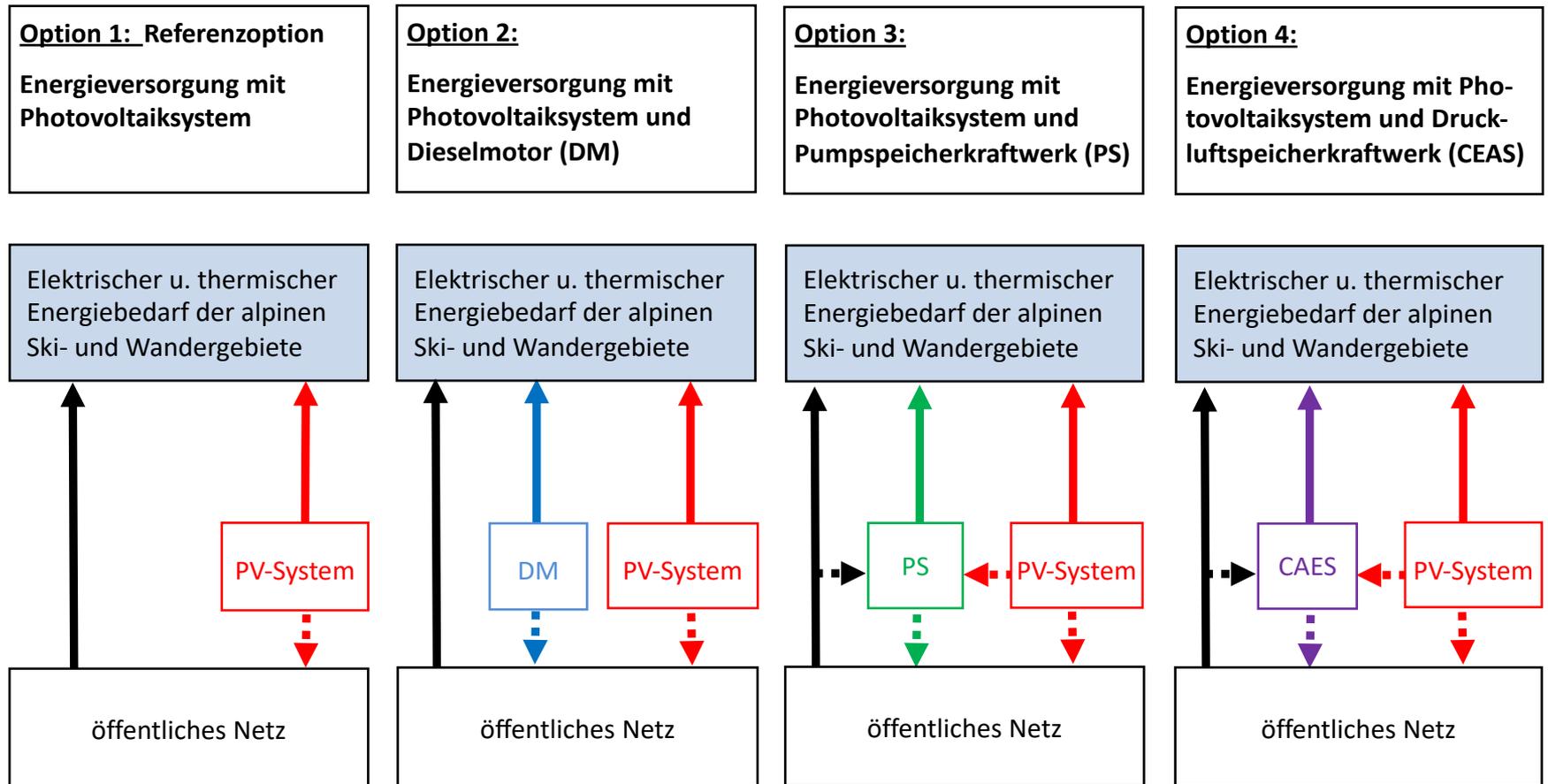


Inwieweit können Dieselmotoren, Pumpspeicher- oder Druckluftspeicherkraftwerke zur weiteren Optimierung der Energieversorgung verwendet werden?

→ **Leistungspreis**

→ **Arbeitspreis (Hochtarif)**

2 Energieversorgung auf der Basis von Photovoltaiksystemen und Dieselmotor(en) oder Pump- bzw. Druckluftspeicherkraftwerk



3 Model zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

I: Parameter des Versorgungsobjektes

- a) Liftstationsgebäude
- b) Liftanlagen
- c) Beschneiungssysteme

Technische Parameter

- Standort und Ausstattung
- therm./elektr. Leistungsbedarf
- therm./elektr. Energiebedarf

II: Parameter der Energieversorgungssysteme

Öffentliches Netz

- Leistungs-/Arbeitspreise
- Marktpreise

Photovoltaiksystem

- technische/ökonomische Parameter

III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme

Dieselmotor(en)

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Pumpspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Druckluftspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

1. Bewertung der Energieversorgungsvarianten alpiner Ski- und Wandergebiete
2. Optimierung der Kosteneffizienz der Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

3 Model zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

I: Parameter des Versorgungsobjektes

- a) Liftstationsgebäude
- b) Liftanlagen
- c) Beschneiungssysteme

Technische Parameter

- Standort und Ausstattung
- therm./elektr. Leistungsbedarf
- therm./elektr. Energiebedarf

II: Parameter der Energieversorgungssysteme

Öffentliches Netz

- Leistungs-/Arbeitspreise
- Marktpreise

Photovoltaiksystem

- technische/ökonomische Parameter

III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme

Dieselmotor(en)

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Pumpspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Druckluftspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

1. Bewertung der Energieversorgungsvarianten alpiner Ski- und Wandergebiete
2. Optimierung der Kosteneffizienz der Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

Teil I: Parameter des Versorgungsobjektes (Untersuchungsmodell)

Standort des untersuchten Ski- und Wandergebietes

Lage: Graubünden (Schweiz)

Höhe: 1500 - 2500 m

Nutzungsstrukturen

Skisaison: November - April (09:00 - 15:00 Uhr)

Wandersaison: Mai - Oktober (08:00 - 17:00 Uhr)



Technische Parameter des Ski- und Wandergebietes:

a) Liftstationsgebäude

beheizte Gesamtfläche: 1.500 m²

beheiztes Volumen: 3.750 m³

b) Lifтанlagen

Sommer-/Winteranteil: 7,3 % / 92,7 %

max. Förderkapazität: 10.000 Pers./h

c) Beschneigungsanlagen

Grundbeschneigung: bis zu 30 cm

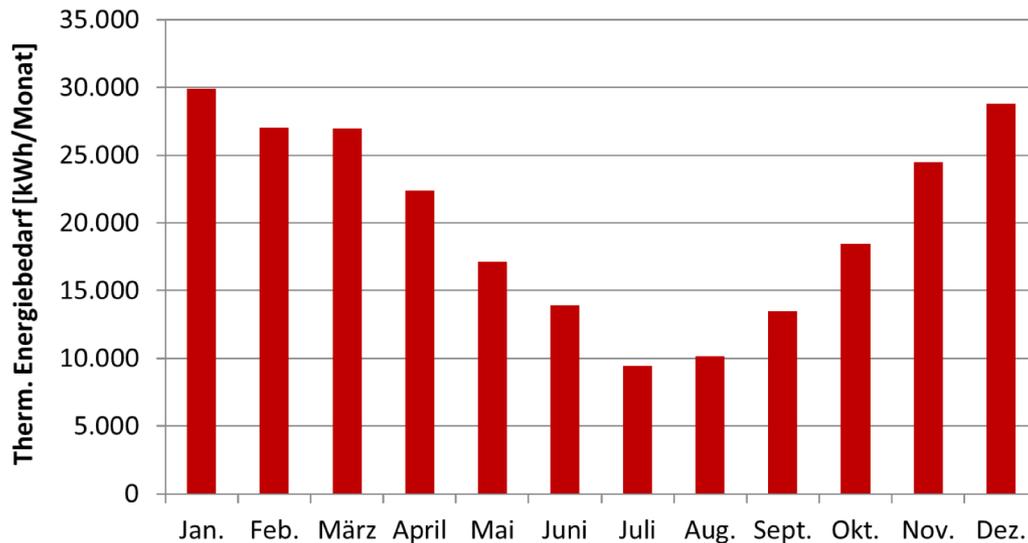
Pistenfläche: 150 ha

Beschneigungsanteil: 20 %

Teil I: Parameter des Versorgungsobjektes (Untersuchungsmodell)

A: Betrieb der Liftstationsgebäude

Ermittlung des thermischen Jahreslastganges nach meteorologischen Daten und DIN 4710 sowie unter Berücksichtigung von DIN EN 12831



beheizte Fläche: 1.500 m²
beheiztes Volumen: 3.750 m³

Festlegung: bauphysikalische Kennwerte, Gebäudeausrichtung, etc.

→ **Berechnung des Wärmebedarfs der Liftstationsgebäude für Heizung + Warmwasserbereitung**

→ **Annahme: Deckung des Wärmebedarfs über elektrische Heizgeräte**

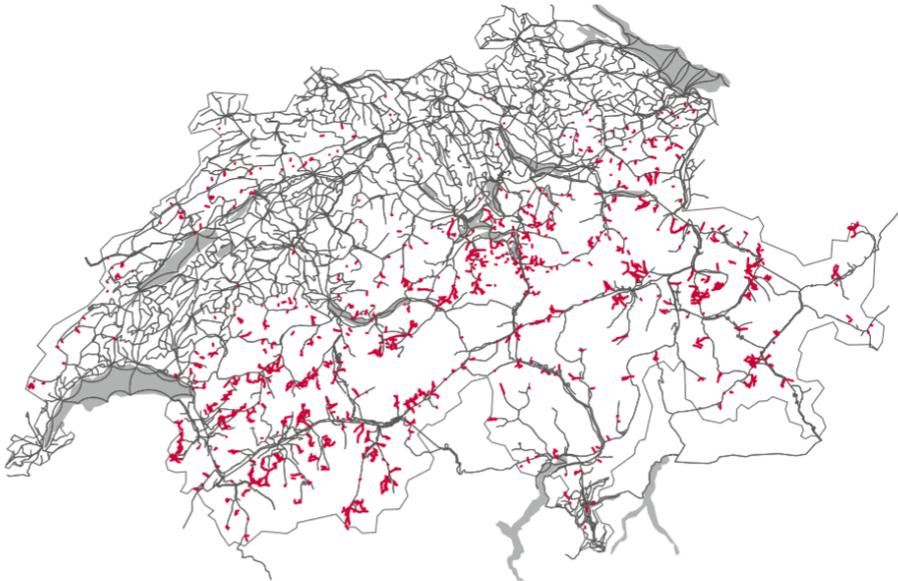
Elektrische Jahreslastgänge der Liftstationsgebäude

Festlegung (Ausstattung): gastronomische und touristische Einrichtungen, IT-Infrastruktur, Beleuchtung, etc.

Teil I: Parameter des Versorgungsobjektes (Untersuchungsmodell)

B: Betrieb der Lifтанlagen und Seilbahnen

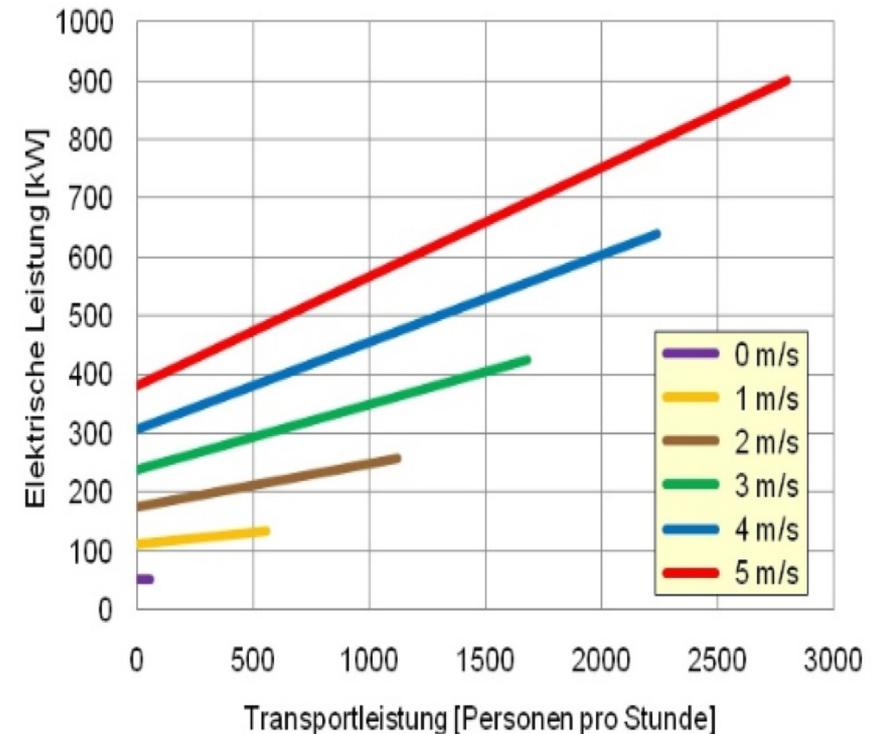
Übersichtskarte öffentlicher Verkehr und Seilbahnen



Saisonale Verteilung der Personenverkehrserträge

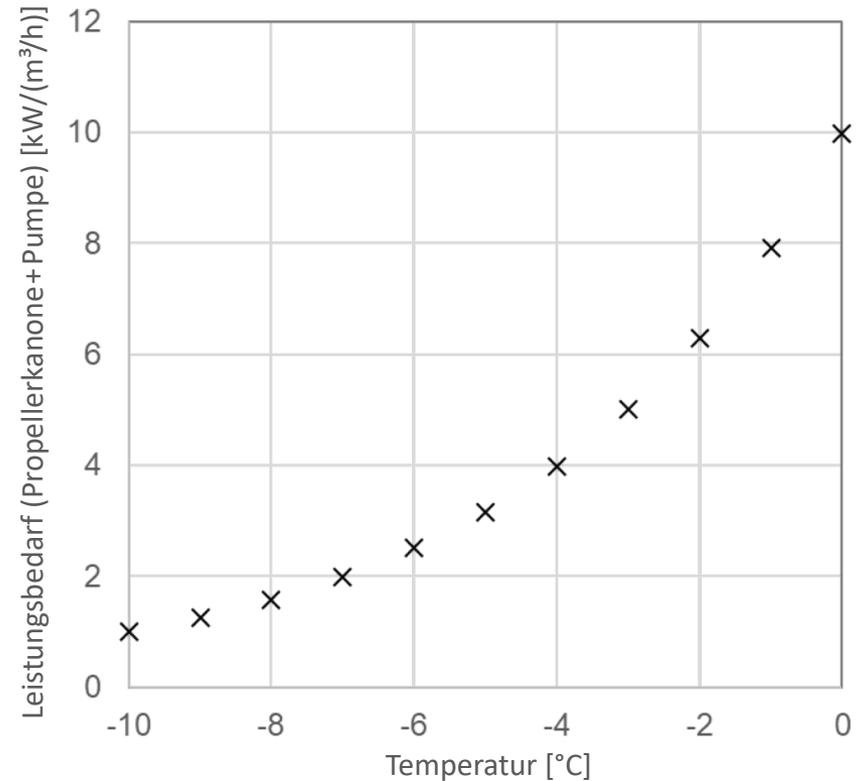
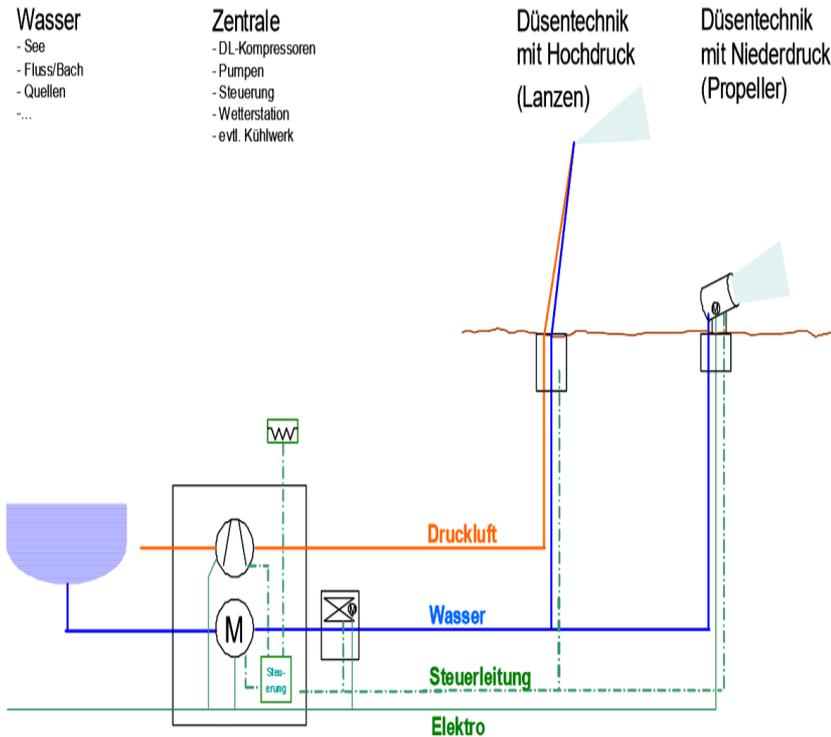
	Durchschnitt CH	Graubünden
Winter:	76,0 %	92,7 %
Sommer:	24,0 %	7,3 %

Leistungsbedarf einer Umlaufbahnseilbahn bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten



Teil I: Parameter des Versorgungsobjektes (Untersuchungsmodell)

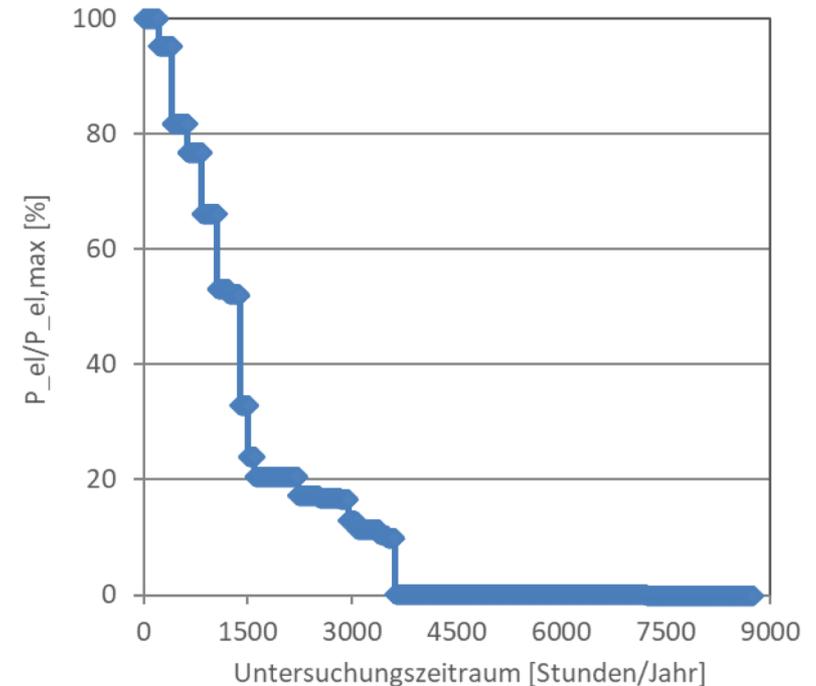
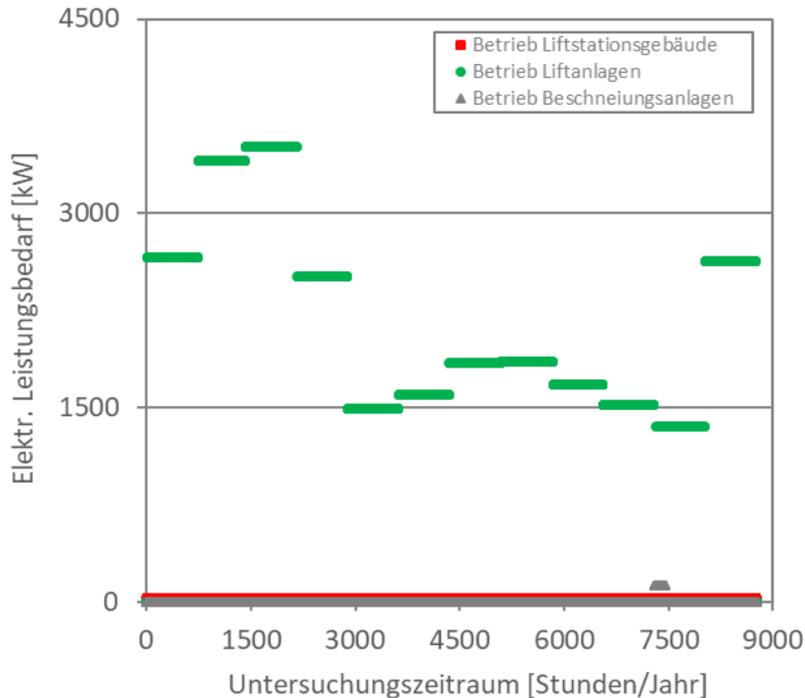
C: Betrieb der Schnee- bzw. Beschneiungsanlagen



Teil I: Parameter des Versorgungsobjektes (Untersuchungsmodell)

Elektrische Jahresdauerlinie des untersuchten Ski- und Wandergebietes

(Betrieb Liftstationsgebäude, Umlaufbahnbetrieb, ggf. Grundbeschneigung mit Schneeanlagen)



Skisaison: Nov. - April (09:00-15:00 Uhr)

Wandersaison: Mai - Okt. (08:00 – 17:00 Uhr)

elektrischer Energiebedarf: 7.612 MWh/a

elektrischer Leistungsbedarf: 3.671 kW

3 Model zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

I: Parameter des Versorgungsobjektes

- a) Liftstationsgebäude
- b) Liftanlagen
- c) Beschneiungssysteme

Technische Parameter

- Standort und Ausstattung
- therm./elektr. Leistungsbedarf
- therm./elektr. Energiebedarf

II: Parameter der Energieversorgungssysteme

Öffentliches Netz

- Leistungs-/Arbeitspreise
- Marktpreise

Photovoltaiksystem

- technische/ökonomische Parameter

III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme

Dieselmotor(en)

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Pumpspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Druckluftspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

1. Bewertung der Energieversorgungsvarianten alpiner Ski- und Wandergebiete
2. Optimierung der Kosteneffizienz der Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

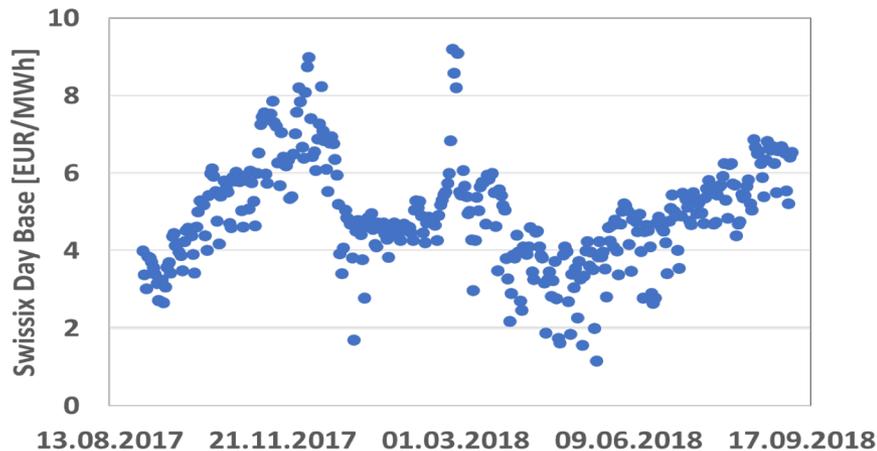
Teil II: Parameter der Energieversorgungssysteme (Untersuchungsmodell)

Preisangaben Industrie- und Gewerbekunden (Schweiz 2018)

Arbeitspreis (Hochtarif: 6 a.m. - 10 p.m.):	17,1 ct/kWh
Arbeitspreis (Niedertarif: 10 p.m. - 6 a.m.):	13,3 ct/kWh
Leistungspreis pro Monat:	8,4 EUR/kW
Heizölpreis:	8,1 ct/kWh

Swissix Day Base (EEX): 4,93 ct/kWh

CO₂-Zertifikat (EEX): 11,80 EUR/EUA

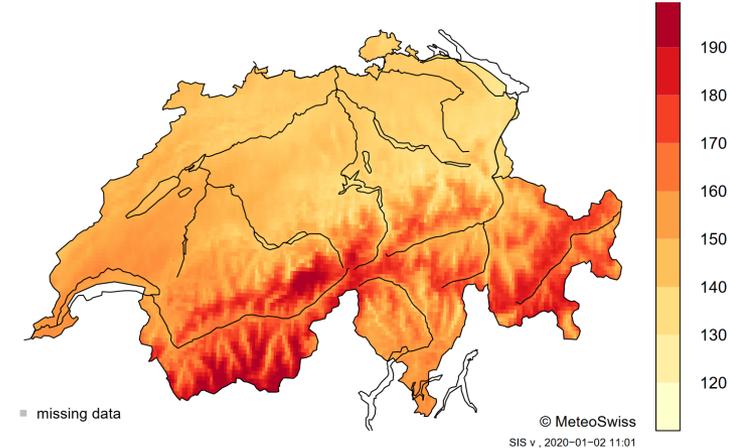


Teil II: Parameter der Energieversorgungssysteme (Untersuchungsmodell)

Kennzahlen der solaren Einstrahlung

Globalstrahlung in W/m^2 (Jahresdurchschnitt)

Bezugsjahr: 2019



Freiflächenphotovoltaikanlage:

→ multikristalline Photovoltaikmodule

→ Gesamtfläche: 500 m^2

→ durchschn. Stromgestehungskosten : 16,37 ct/kWh



3 Model zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

I: Parameter des Versorgungsobjektes

- a) Liftstationsgebäude
- b) Liftanlagen
- c) Beschneiungssysteme

Technische Parameter

- Standort und Ausstattung
- therm./elektr. Leistungsbedarf
- therm./elektr. Energiebedarf

II: Parameter der Energieversorgungssysteme

Öffentliches Netz

- Leistungs-/Arbeitspreise
- Marktpreise

Photovoltaiksystem

- technische/ökonomische Parameter

III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme

Dieselmotor(en)

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

Pumpspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

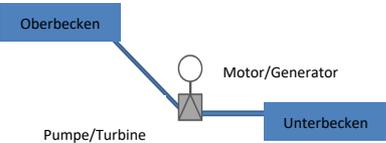
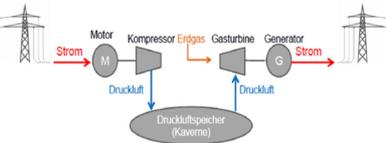
Druckluftspeicherkraftwerk

- technische/ökonomische Parameter
- Auslegungsparameter

1. Bewertung der Energieversorgungsvarianten alpiner Ski- und Wandergebiete
2. Optimierung der Kosteneffizienz der Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

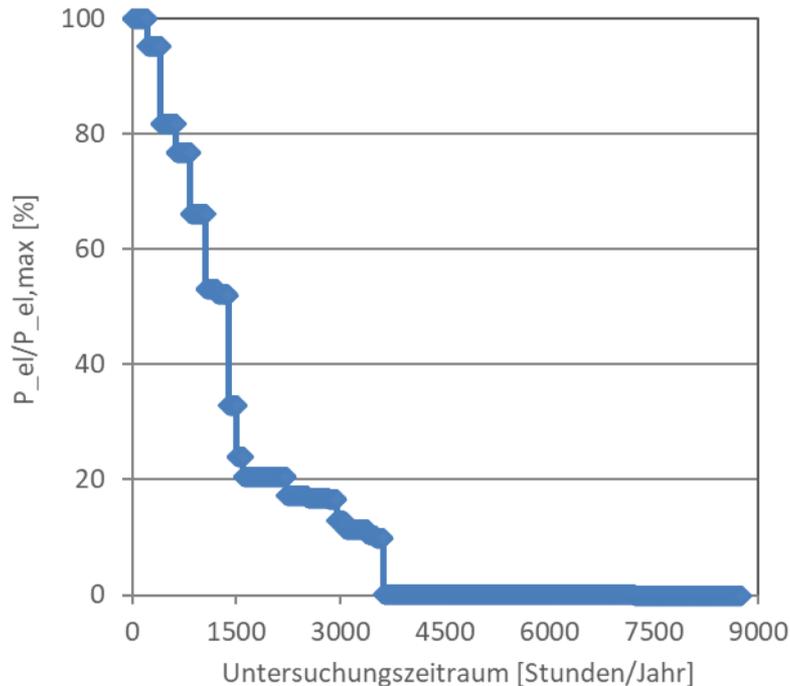
Teil III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme (Untersuchungsmodell)

Technische und wirtschaftliche Merkmale der zusätzlichen Energiesysteme:

	Dieselmotor(en) (DM)	Pumpspeicher- kraftwerk (PS)	Druckluftspeicher- kraftwerk (CAES)
Funktionsprinzip	Gleichdruckprozess		
maximale elektrische Leistung	ca. 5 MW	> 1000 MW	320 MW
Wirkungsgrad	20 - 46 %	70 - 80 %	54 %
CAPEX	0,078 EUR/MW bis 4,7 EUR/MW	1,1 EUR/MW + 130 ct/kWh	670 EUR/kW
OPEX	1 - 5 ct/kWh	0,003 EUR/MW·a + 0,06 ct/kWh	2,5 % CAPEX + 2,0 EUR/MWh

Teil III: Parameter der zusätzlichen Energiesysteme (Untersuchungsmodell)

Auslegung der zusätzlichen Energiesysteme: → Definition der Leistungsanteile



elektrischer Energiebedarf: 7.612 MWh/a
elektrischer Leistungsbedarf: 3.671 kW

PV-Gesamtfläche: 500 m²

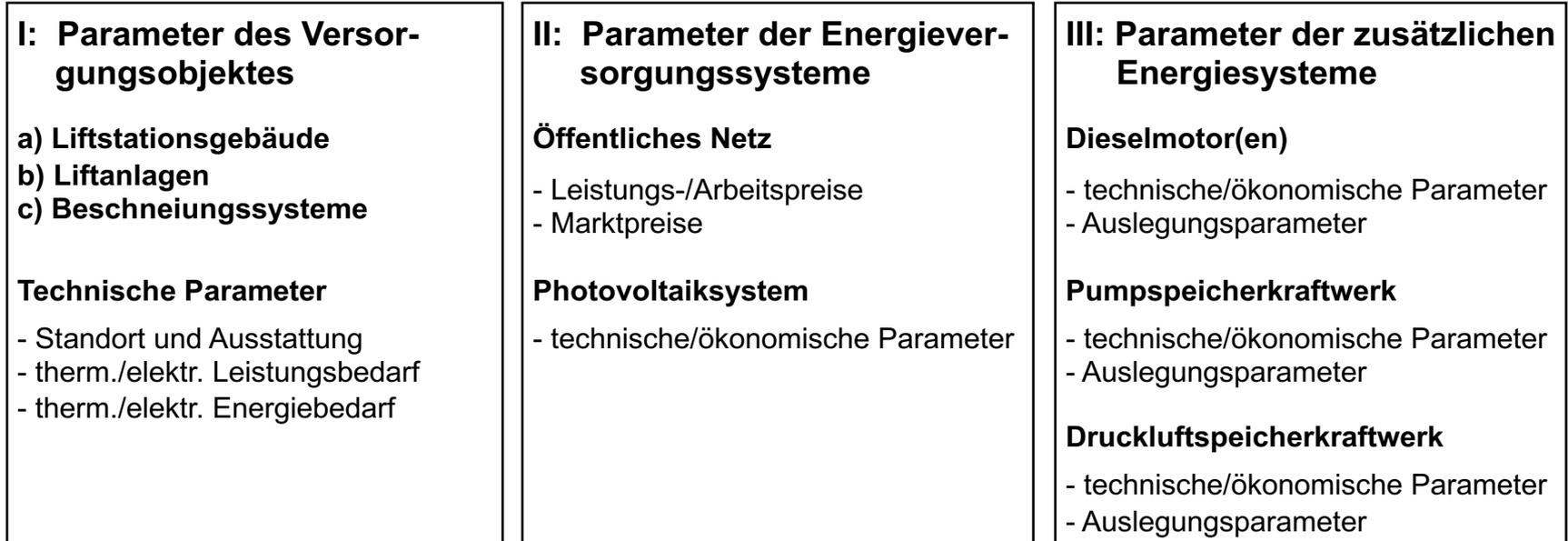
Definition des Leistungsanteils der zusätzlichen Energiesysteme:

- Eigenbedarfsdeckung (volatile Anlagen)
- Überschussstromeinspeisung (volatile Anlagen)
- Gesamtkosten der Energieversorgung (Leistungspreis, Arbeitspreis (Hochtarif))

$$\text{Leistungsanteil [\%]} = \frac{P_{el,max}(\text{Energiesystem})}{P_{el,max}(\text{Versorgungsobjekt})}$$

- Variation der Leistungsanteile der zusätzlichen Energiesysteme zwischen 0 - 100 %
- Bewertung der Kostenstruktur der Energieversorgung

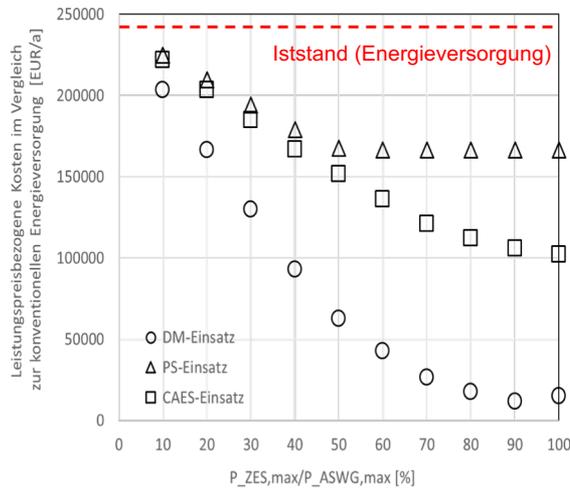
3 Model zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete



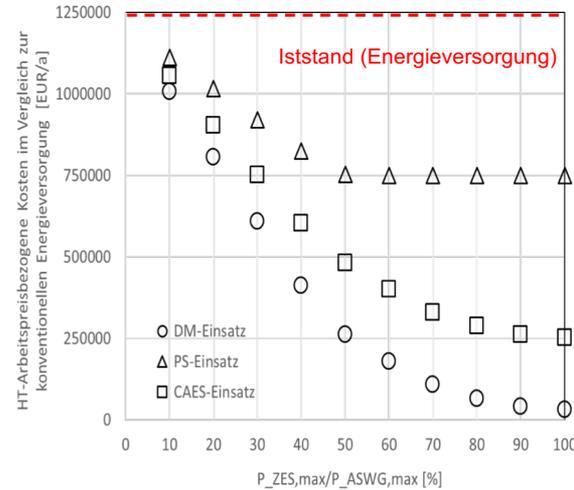
1. Bewertung der Energieversorgungsvarianten alpiner Ski- und Wandergebiete
2. Optimierung der Kosteneffizienz der Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

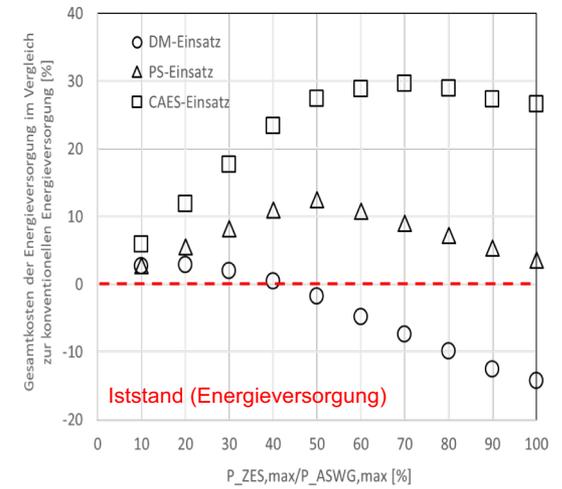
I) Leistungspreis



II) Arbeitspreis (Hochtarif)



III) Gesamtkosten (EV)



- Leistungspreis- und Arbeitspreis (Hochtarif): Kosteneinsparungen im Einsatz des Dieselmotors, Pump- und Druckluftspeicherkraftwerkes
- Gesamtkosteneinsparungen innerhalb der Energieversorgung beim Einsatz des Dieselmotors bei $P_{ZES,max}/P_{ASWG,max} > 41.5 \%$

ASWG: alpines Ski- und Wandergebiet
 CEAS: Druckluftspeicherkraftwerk

DM: Dieselmotor
 ZES: zusätzliches Energiesystem

PS: Pumpspeicherkraftwerk

5 Zusammenfassung und Ausblick

- Modell für Variantenrechnungen/-vergleiche zur Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete unter Berücksichtigung erneuerbarer Energieanlagen und zusätzlicher Energiesysteme
- Beispiel: Energieversorgung alpiner Ski- und Wandergebiete in Graubünden, Variation des Leistungsanteils der zusätzlichen Energiesysteme
 - Gesamtkosteneinsparungspotenziale beim Einsatz von Dieselmotor(en) gegenüber dem Einsatz des Pump- bzw. Druckluftspeicherkraftwerkes
 - Korrelation zwischen Leistungsanteil der zusätzlichen Energiesysteme (Auslegung der Energiesysteme) und Gesamtkosteneinsparung
- erweiterte Untersuchungen und Optimierung der Auslegung und Regelung der Energiespeichersysteme unter Berücksichtigung weiterer Arten erneuerbarer Energieanlagen
- Bewertung aktueller Entwicklungslinien im Gebäude- und Anlagenbereich sowie im Bereich der Sektorenkopplung für die Anwendung in alpinen Ski- und Wandergebieten

Literatur- und Quellennachweis

- [1] MeteoSchweiz, 2014, «Klimaszenarien Schweiz - eine regionale Übersicht», Fachbericht MeteoSchweiz, 243, 36 pp.
- [2] PwC Schweiz und Energy Brainpool GmbH & Co. KG: Strompreise in der Schweiz 2016 bis 2025, In: https://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studien/Studie_201412_pwc_strompreise_in_der_schweiz_2016_bis_2025_Energy_Brainpool.pdf, (Download: 10/2018)
- [3] DIN 4710: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland (Stand: 01/2003)
- [4] DIN EN 12831: Energetische Bewertung von Gebäuden (Stand: 09/2017)
- [5] Schweizer Tourismusverband (Hrsg.): Schweizer Tourismus in Zahlen 2016 - Struktur- und Branchendaten, In: www.stv-fst.ch, (Download 09/2018)
- [6] n.n.: Energiesparmöglichkeiten bei Seilbahnen, In: <http://energie.ch/seilbahnen>, (Download: 08/2018)
- [7] Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Hrsg.): Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potenziale für Energieoptimierungen, 2009, In: https://www.qualitaet-gr.ch/uploads/files/BFE_Energetische%20Bedeutung%20Beschneigung%20-%20Lang%202009.pdf, (Download: 09/2018)
- [8] n.n.: CO2 European Emission Allowances, In: <https://www.finanzen.net/rohstoffe/co2-emissionsrechte/historisch>, (Download: 09/2018)
- [9] HEV Schweiz (Hrsg.): Monatsmittel Heizölpreise; In: <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/nebenkostenabrechnungen/heizoelpreise/monatsmittel-heizoelpreise/>; (Download: 09/2018)
- [10] n. n.: Schneekanone, In: [Wikipedia.de](https://de.wikipedia.org/wiki/Schneekanone), (Download: 08/2018)
- [11] Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz: Monats- und Jahresgitterkarten, In: https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/monthly-annual-maps-processing/rad/mean/2019/rad_mean_2019_yy.pdf, (Download: 01/2020)
- [12] Eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom (Hrsg.) Die kantonalen Strompreise im Vergleich, In: <https://www.strompreis.elcom.admin.ch/Map/ShowSwissMap.aspx>, (Download: 09/2018)

Literatur- und Quellennachweis (Fortsetzung)

- [13] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, März 2018, In: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf, (Download 09/2018)
- [14] Haas, R.; Ajanovic, A.: Wirtschaftliche und energetische Aspekte von Langzeitspeichern, In: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_221945.pdf; (Download: 01/2020)
- [15] Solaranlagen-ABC: Solaranlagen für Freiflächen, In: <https://www.solaranlagen-abc.de/solaranlagen-fuer-freiflaechen/>, (Download 09/2018)
- [16] n.n.: Sonnenaufgang und Sonnenuntergang Schweiz, In: <http://www.sunrise-and-sunset.com/de/sun/schweiz>, (Download: 09/2018)
- [17] ASUE (Hrsg.): BHKW-Kenndaten 2011: Module, Anbieter, Kosten; Kaiserslautern: Verlag Rationeller Erdgaseinsatz; 2001
- [18] n.n.: Auktion EPEX SPOT - Swissix Day Base, In: www.eex.com, (Download: 09/2018)
- [19] n.n.: Die schönsten Wanderregionen der Schweiz: In: <https://www.wanderungen.ch/de/wanderregionen.html> (Download 03/2019)
- [20] n.n.: Skigebiete Schweiz, In: <https://www.bergfex.ch/schweiz/> (Download 03/2019)
- [21] n.n. : Schweiz - Kantone, In: <https://online.seterra.com/de/vgp/3013> (Download: 04/2019)
- [22] Stickelberger, D.: Szenarien für den Schweizer Photovoltaikmarkt, In: https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Tagungen/PV-Tagung_2017/2.1_Stickelberger_David.pdf (Download: 03/2017)
- [23] FfE (Hrsg.): Gutachten zur Rentabilität von Pumpspeicherkraftwerken, In: https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Themen/Energie_und_Rohstoffe/Dokumente_und_Cover/2014-Pumpspeicher-Rentabilitaetsanalyse.pdf (Download: 04/2019)
- [24] FfE (Hrsg.): Verbundforschungsvorhaben Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030, In: https://www.ffe.de/images/stories/Themen/414_MOS/20160728_MOS_Speichertechnologien.pdf (Download: 04/2019)
- [25] Kloess, M.: Wirtschaftliche Bewertung von Stromspeichertechnologien, In: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2012/files/pr/PR_Kloess.pdf (Download: 04/2019)