

Potenzial und Wirtschaftlichkeit von Pumpspeicheranlagen mit kleinen Fallhöhen

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Einleitung

- Nach *Richtlinie 2009/28/EG*
„Anteil erneuerbare Energie am Bruttoendenergieverbrauch von 18% bis 2020“
(2005: 5,8%; 2008: 9,3%)
- Aktionsplan für erneuerbare Energien:
„Der Anteil der erneuerbaren Energien im Stromsektor beträgt dabei 38,6%, [...]“
(Umwelt Bundesamt: 2008: 14,8%)

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Motivation:

Die Bundesregierung hat sich eindeutig für den Ausbau regenerativer Stromerzeugung ausgesprochen.

- verschiedene Studien zu möglichen Ausbauszenarien, z. B.:
 - dena,
 - UBA „100% Stromerzeugung aus erneuerbaren Energie 2050“ ,
 - DLR und viele mehr (VDE, Czisch 2005, ...) sowie
 - SRU (2010 und 2011, bezogen auf UBA und DLR)

SRU - Stellungnahme zu der Perspektive

„100% Stromerzeugung aus erneuerbaren Energie 2050“

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

- **Motivation // Strompreisbörse // Weiterer Ausbau der Windkraft**
- Schwankende Nachfrage (Last) im Tages- und Wochenrhythmus
- Saisonale Schwankungen durch Witterung (Winter / Übergang / Sommer)
- Starke Schwankung der Windkraftleistung
- Weiterer Ausbau der Windkraft bis 2020: Offshore / Onshore 10 bis 40 GW
- Keine wirtschaftliche Technologie zur Speicherung von Energie / Strom
- Pumpspeichieranlagen derzeit die günstigste Alternative und wahrscheinlich auch in absehbarer Zeit !??
- **Nachteile von Pumpspeicher:**
 - hoher technischer und finanzieller Aufwand
 - Relativ großer Flächenbedarf
 - **Ablehnung von „Großprojekten“ in Teilen der Bevölkerung**

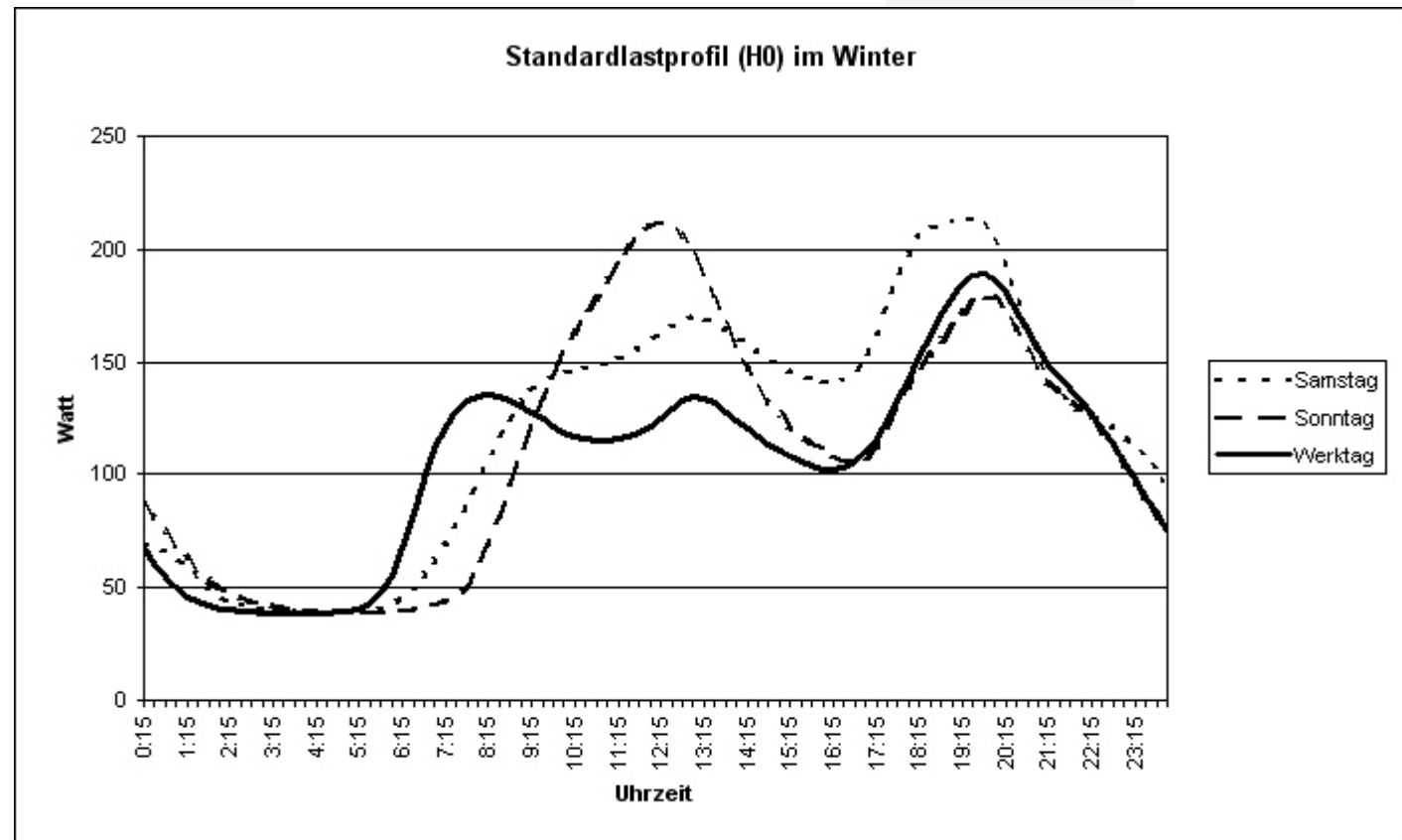
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Standardlastprofil eines Haushaltes (H0) im Winter



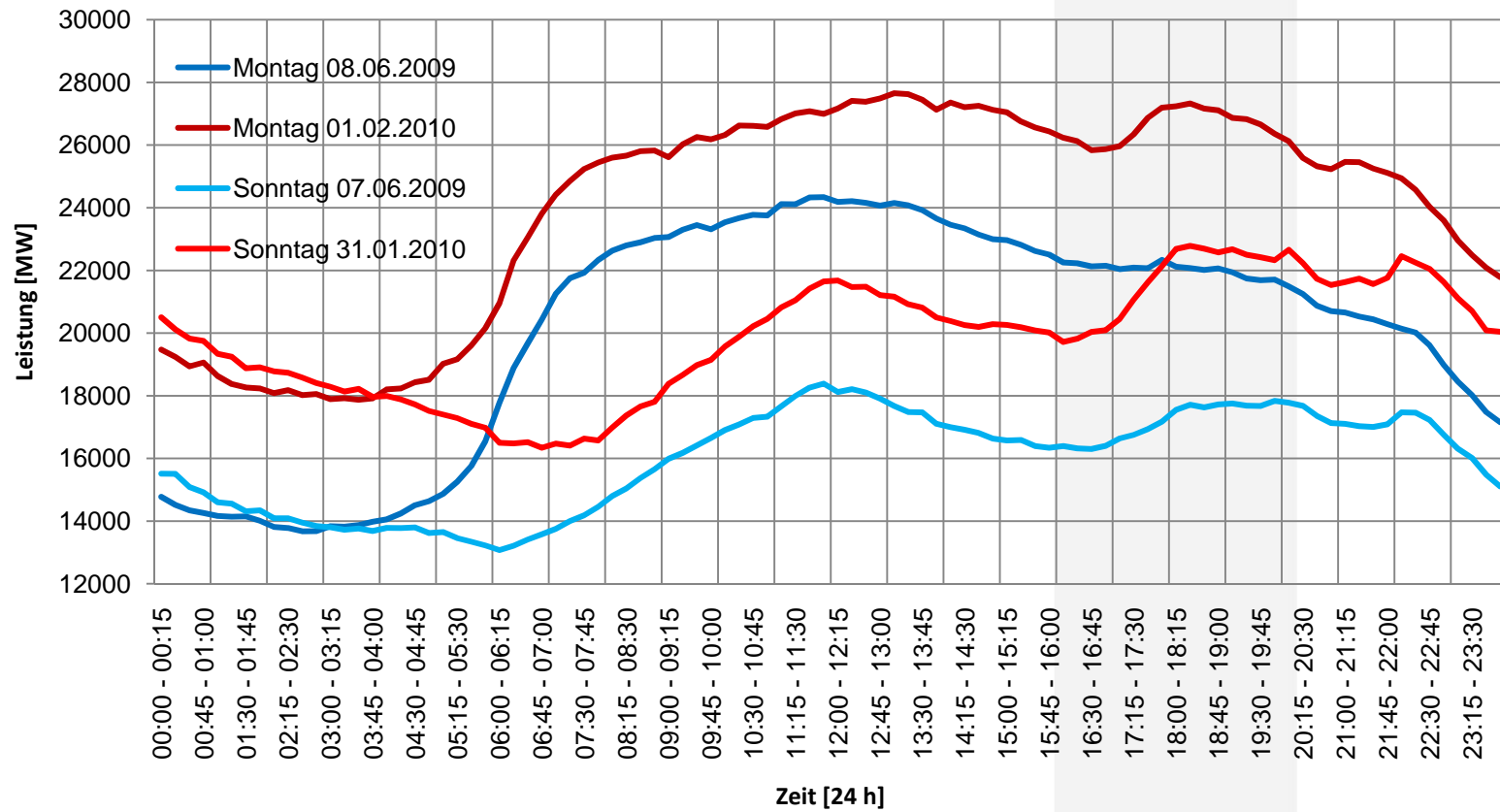
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

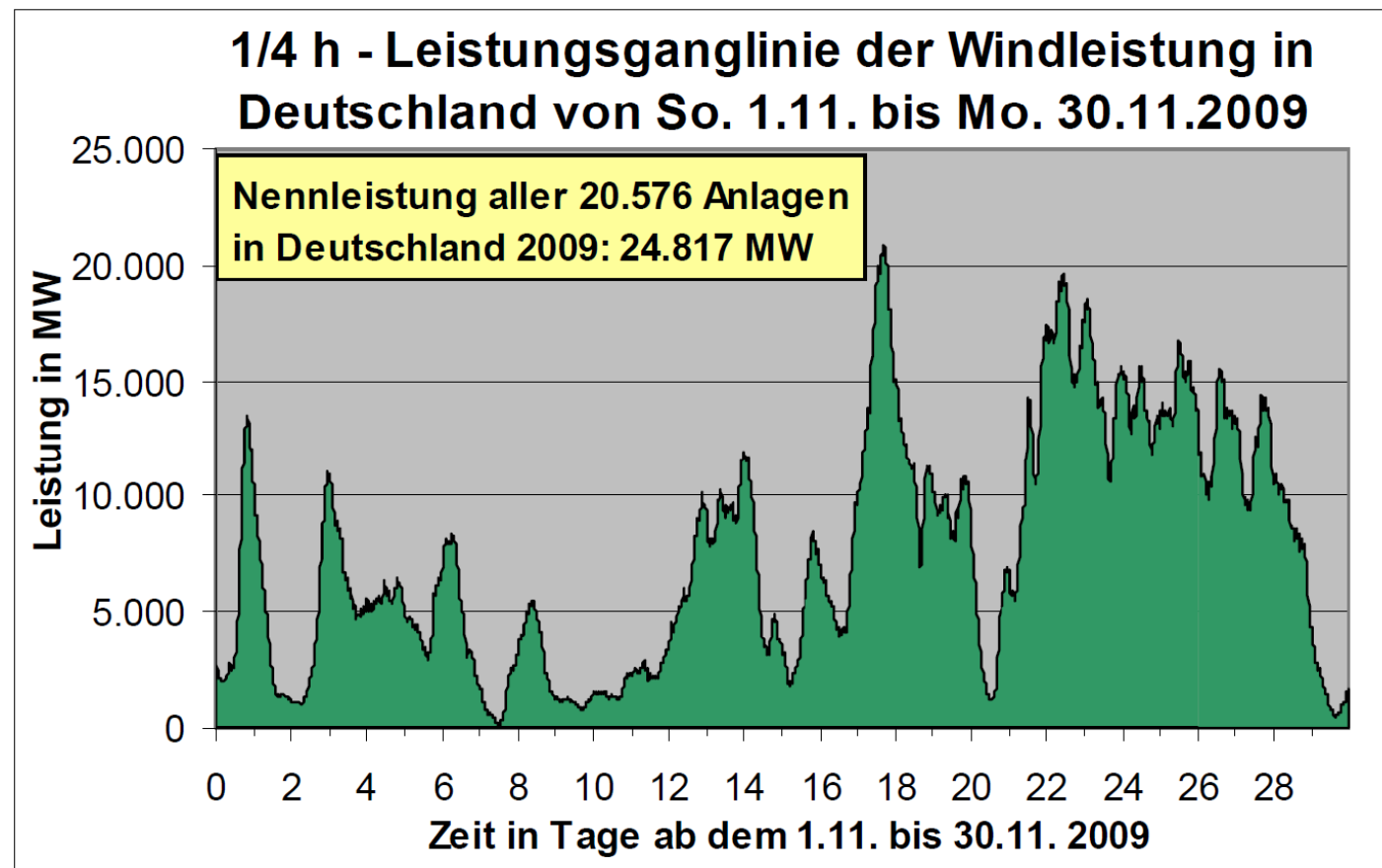
Ausblick

Tagesganglinie Sommer - Winter von Amprion (RWE Transportnetz Strom GmbH)



Energieerzeugung

z.B. Windkraft



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

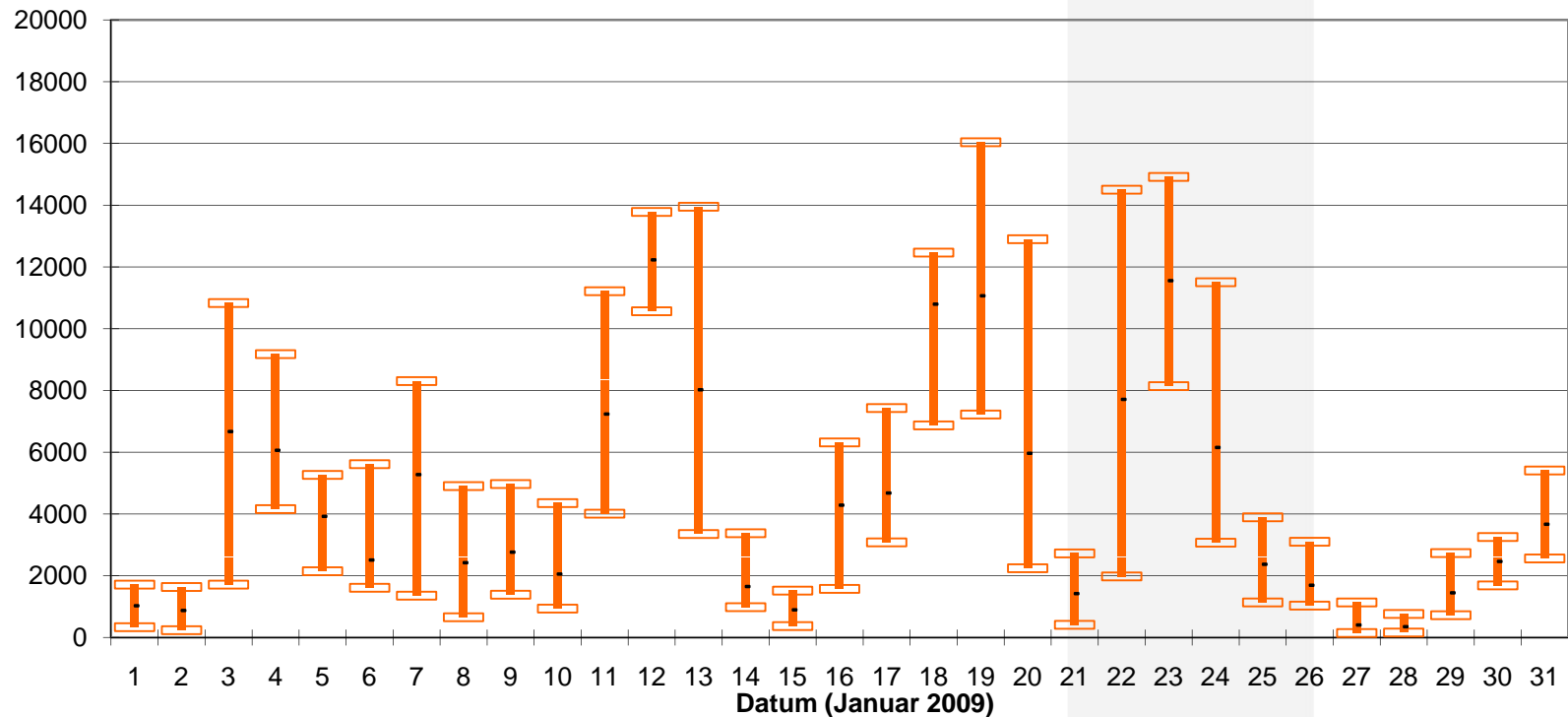
**Nennleistung aller 20.576 Anlagen
in Deutschland 2009: 24.817 MW**

EEG-Windenergie-Einspeisung in Deutschland im Januar 2009, Tagesminima und Tagesmaxima der 1/4-Stunden-Leistungsprofile

Stand: 10.02.2009

bdeu
Energie. Wasser. Leben.

Leistung in MW



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

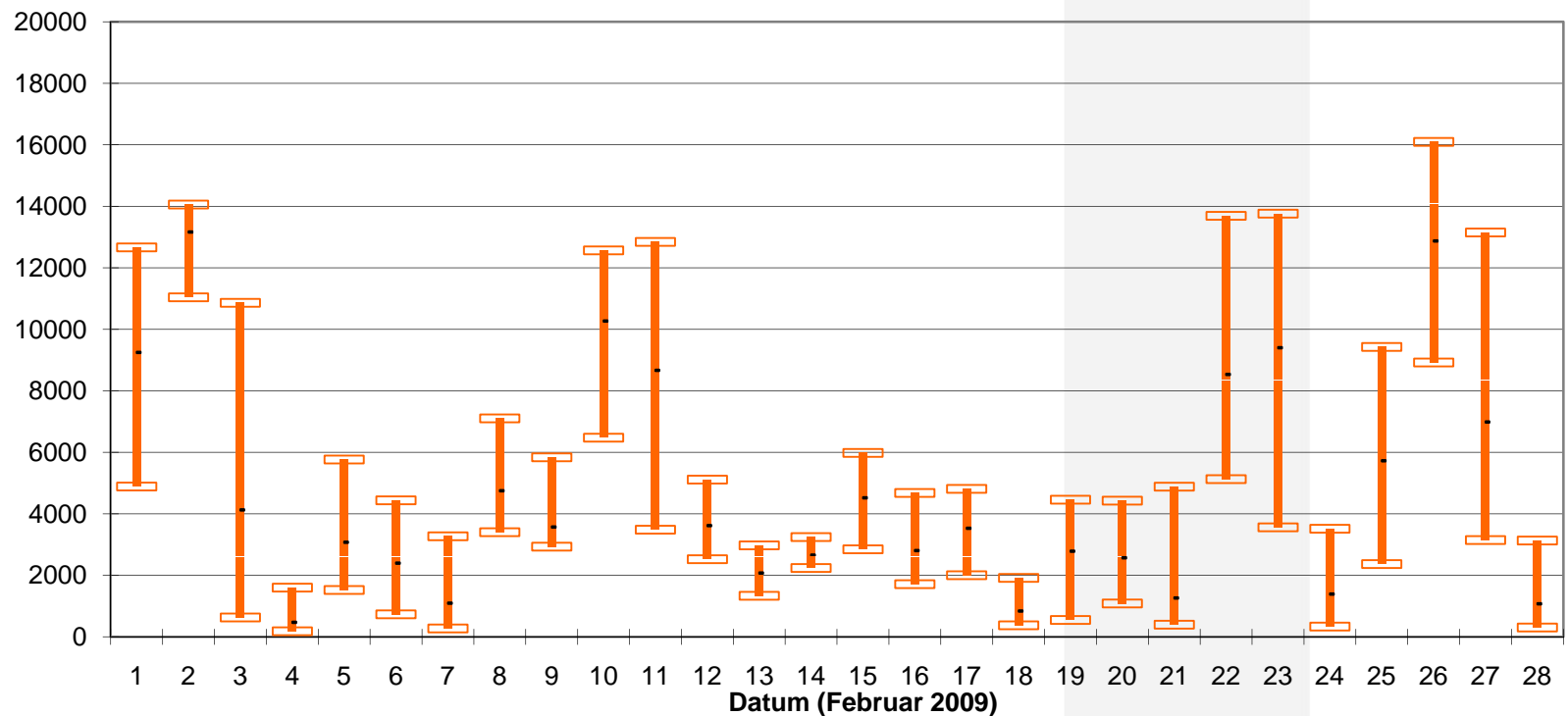
**Nennleistung aller 20.576 Anlagen
in Deutschland 2009: 24.817 MW**

**EEG-Windenergie-Einspeisung in Deutschland im Februar 2009,
Tagesminima und Tagesmaxima der 1/4-Stunden-Leistungsprofile**

Stand: 10.03.2009

bdeu
Energie. Wasser. Leben.

Leistung in MW



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

**Nennleistung aller 20.576 Anlagen
in Deutschland 2009: 24.817 MW**

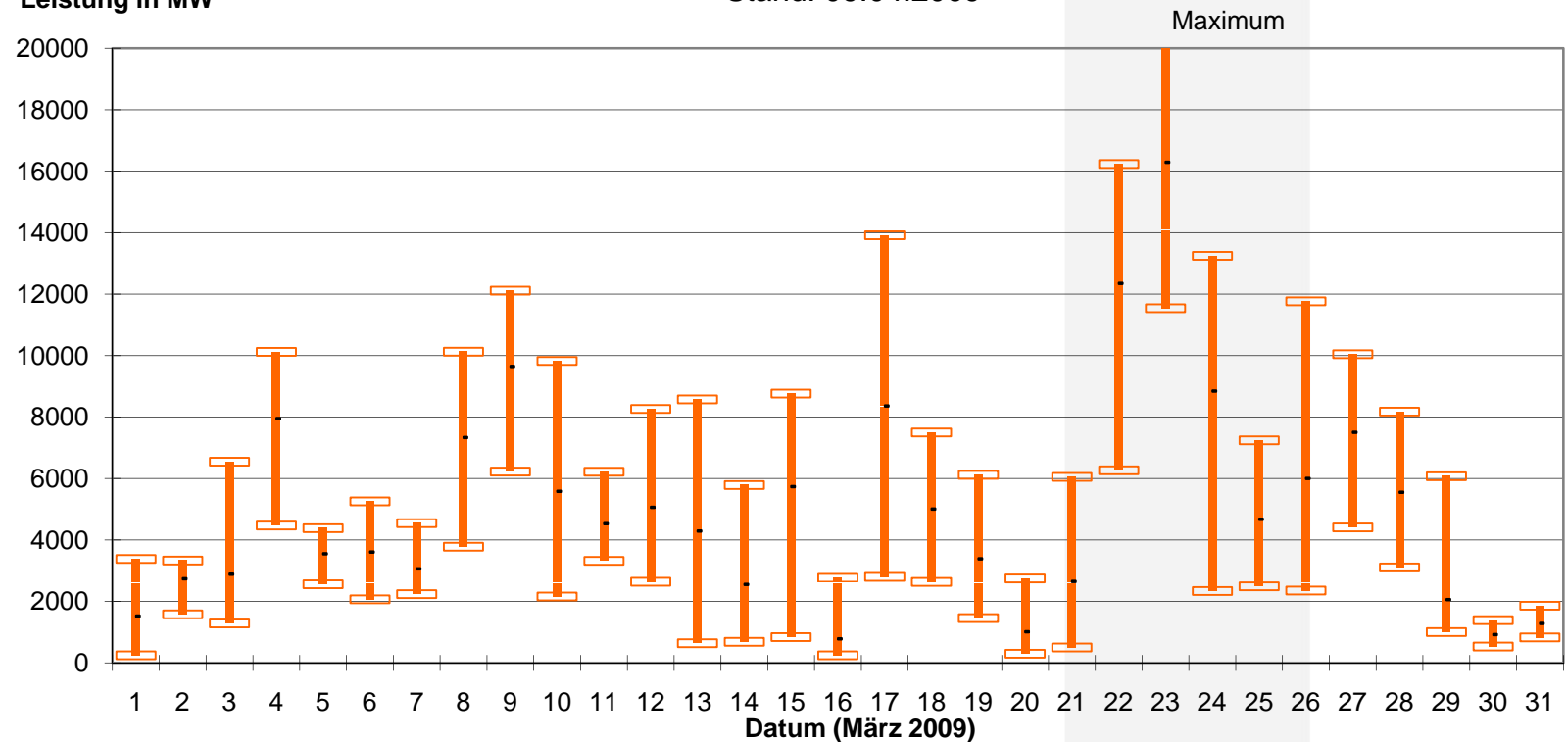
EEG-Windenergie-Einspeisung in Deutschland im März 2009, Tagesminima und Tagesmaxima der 1/4-Stunden-Leistungsprofile

Stand: 09.04.2009



bdew
Energie. Wasser. Leben.

Leistung in MW



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

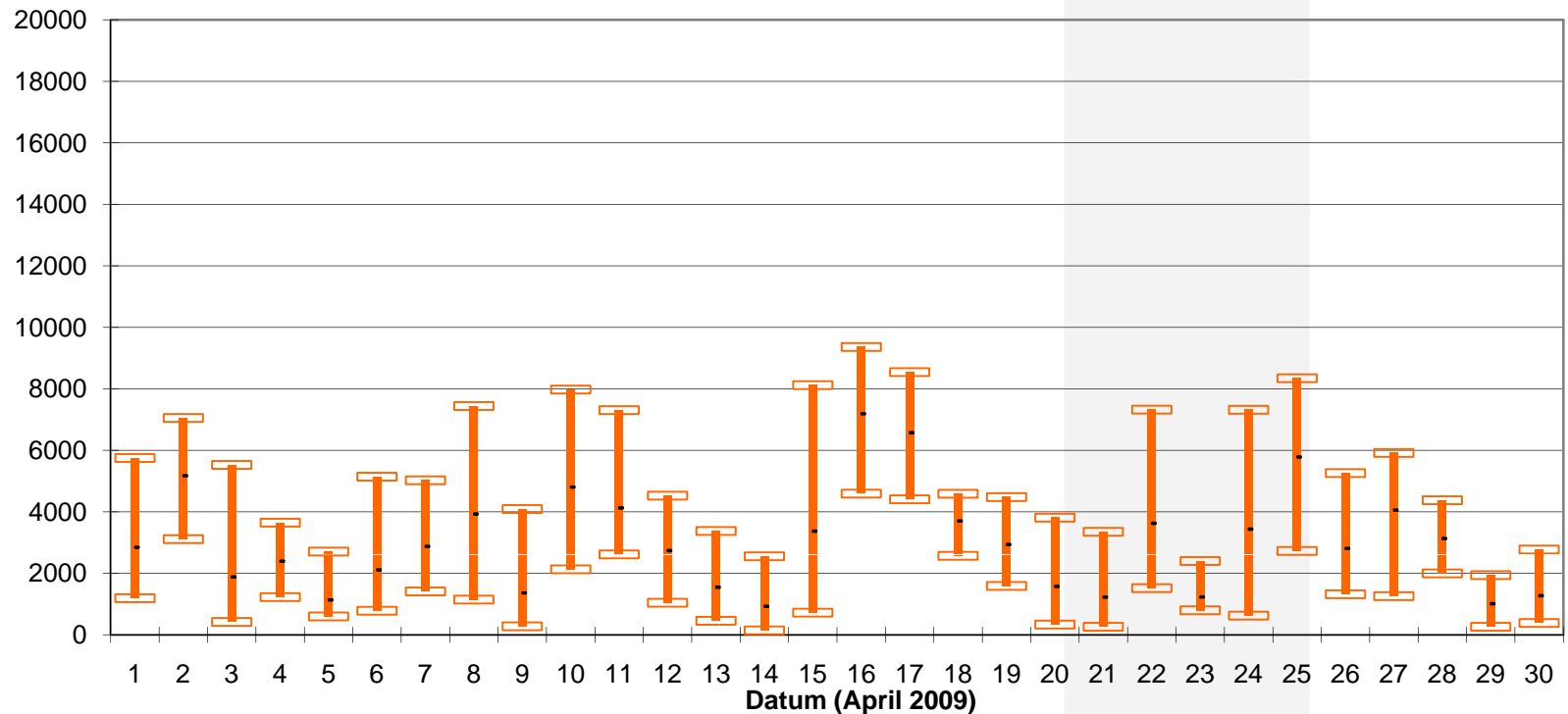
**Nennleistung aller 20.576 Anlagen
in Deutschland 2009: 24.817 MW**

**EEG-Windenergie-Einspeisung in Deutschland im April 2009,
Tagesminima und Tagesmaxima der 1/4-Stunden-Leistungsprofile**

Stand: 08.05.2009

bdeu
Energie. Wasser. Leben.

Leistung in MW



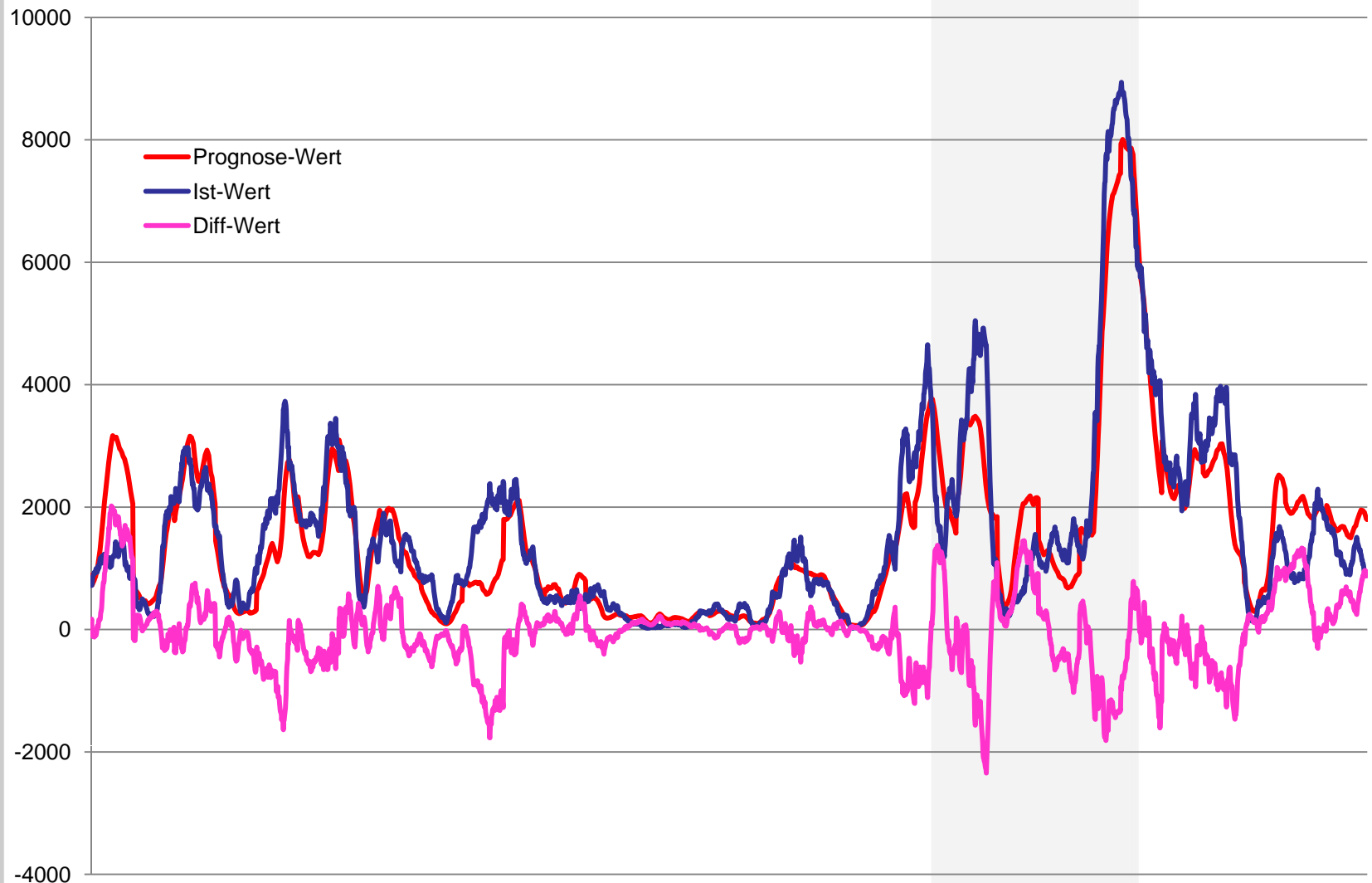
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Windenergieleistung in der Regelzone der 50 HERTZ GmbH (Vattenfall) in MW Dezember 2009



Einleitung

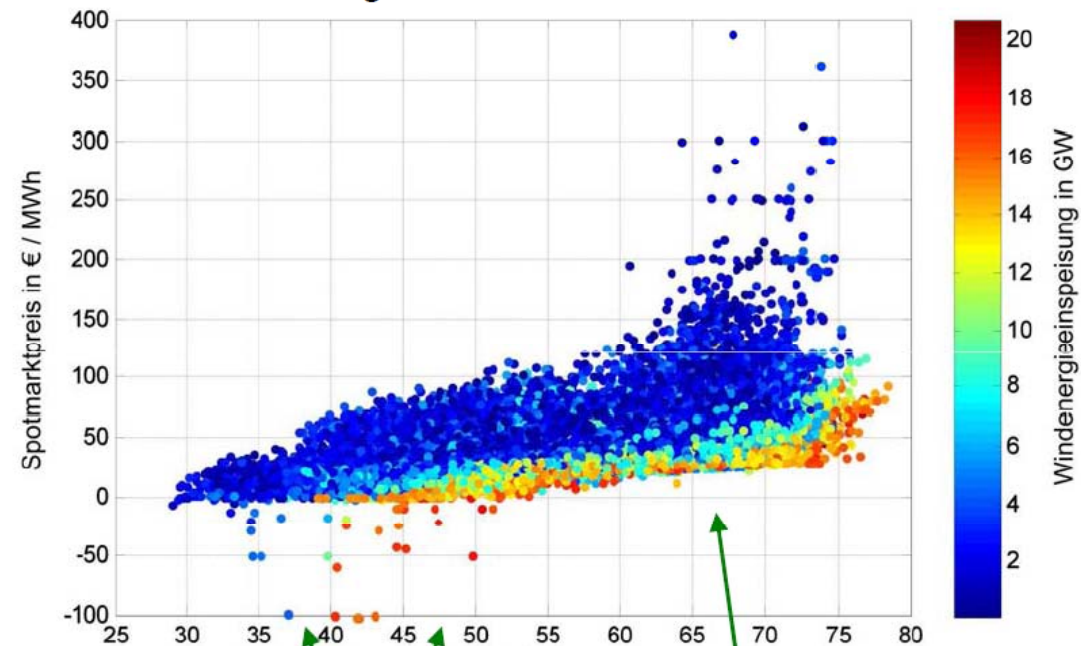
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008



Negative Strompreise
zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

Wind senkt den Spotmarktpreis

Quelle: Jentsch, Sterner, 2010

Einleitung

Grundlagen

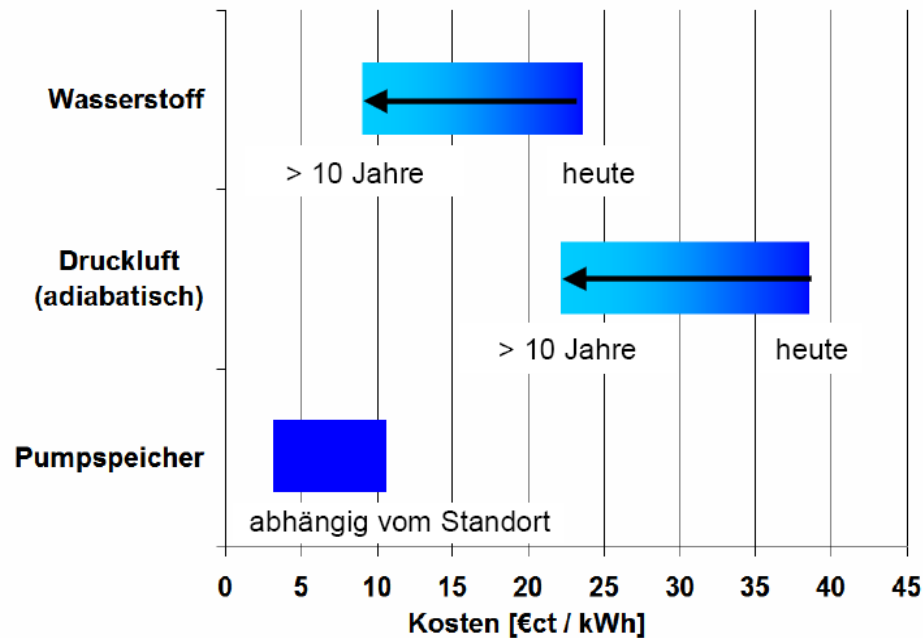
Standortfindung

Ausblick

RWTHAACHEN



Kosten für Energie aus Großspeichern („monatlich“)
(500 MW, 100 GWh, ~1,5 Zyklen pro Monat, Zins 8%, Stromkosten 4ct)



Quelle: ENERGY STORAGE FOR IMPROVED OPERATION OF FUTURE ENERGY SUPPLY SYSTEMS, M. Kleimaier, et.al., CIGRE 2008

14.05.2009
Dirk Uwe Sauer

Modell zur Bewertung von Batteriespeichern

Nr. 8

RWTHAACHEN ISEA
 VDE/ETG-Tagung: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger
Vergleich von Betriebskosten verschiedener Speichertechnologien und nicht-klassischer Alternativen – Ergebnisse aus der Speicherstudie der ETG
 Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer
 Juniorprofessur für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik
 Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebstechnik (ISEA)
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rik W. Die Doncker
 RWTH Aachen University

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

RWTHAACHEN



Zusammenfassung zur Kostenberechnung

- Kostenberechnungen sind komplex und hängen von vielen Parametern ab.
- Viele Studien verwenden falsche oder ungeeignete Daten.
- Ein Vergleich von Kosten verschiedener Speichertechnologien kann nur auf Basis von klar definierten Referenzfällen erfolgen.
- Kosten für Speicher pro durchgesetzter kWh hängen sehr stark von Finanzparametern wie Kapitalkosten und Stromkosten ab.
- Kosten unter 5 €/kWh sind sehr schwer zu erreichen, Kosten über 10 €/kWh müssen aber nicht sein.

→ Umfangreiche F&E&D ist für alle Technologien gerechtfertigt und dringend notwendig, um die avisierten Kostenziele zu erreichen.

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

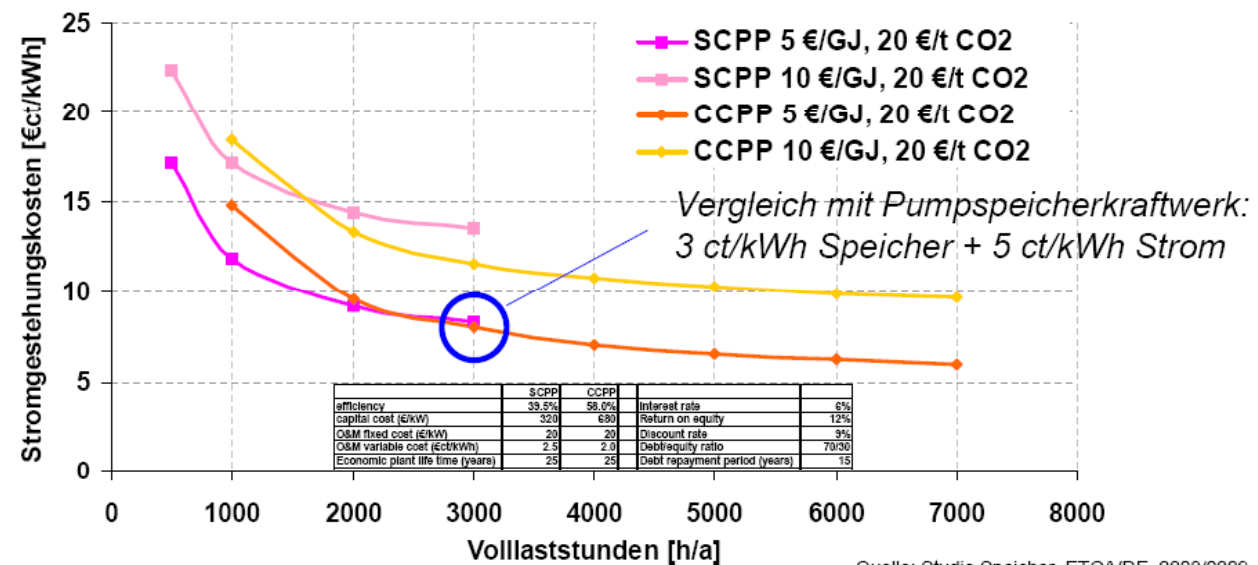
Ausblick

RWTHAACHEN



Spitzenlast-Gaskraftwerke

- SCPP – Single Cycle Power Plant – Wirkungsgrad 39,5%
- CCPP – Combined Cycle Power Plant – Wirkungsgrad 58%
- Variation im Gaspreis: 5 €/GJ \equiv 1,8 €ct/kWh, 10 €/GJ \equiv 3,6 €ct/kWh



Quelle: Studie Speicher, ETG/VDE, 2008/2009

14.05.2009
Dirk Uwe Sauer

Modell zur Bewertung von Batteriespeichern

Nr. 40

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW – Rönkhausen



PSKW
Rönkhausen

Ausbauleistung: 140 MW

Energieinhalt OB: 690 MWh

Speicherinhalt: 950.000 m³

Fallhöhe: 254 – 277 m

Durchfluss: 44 m³/s

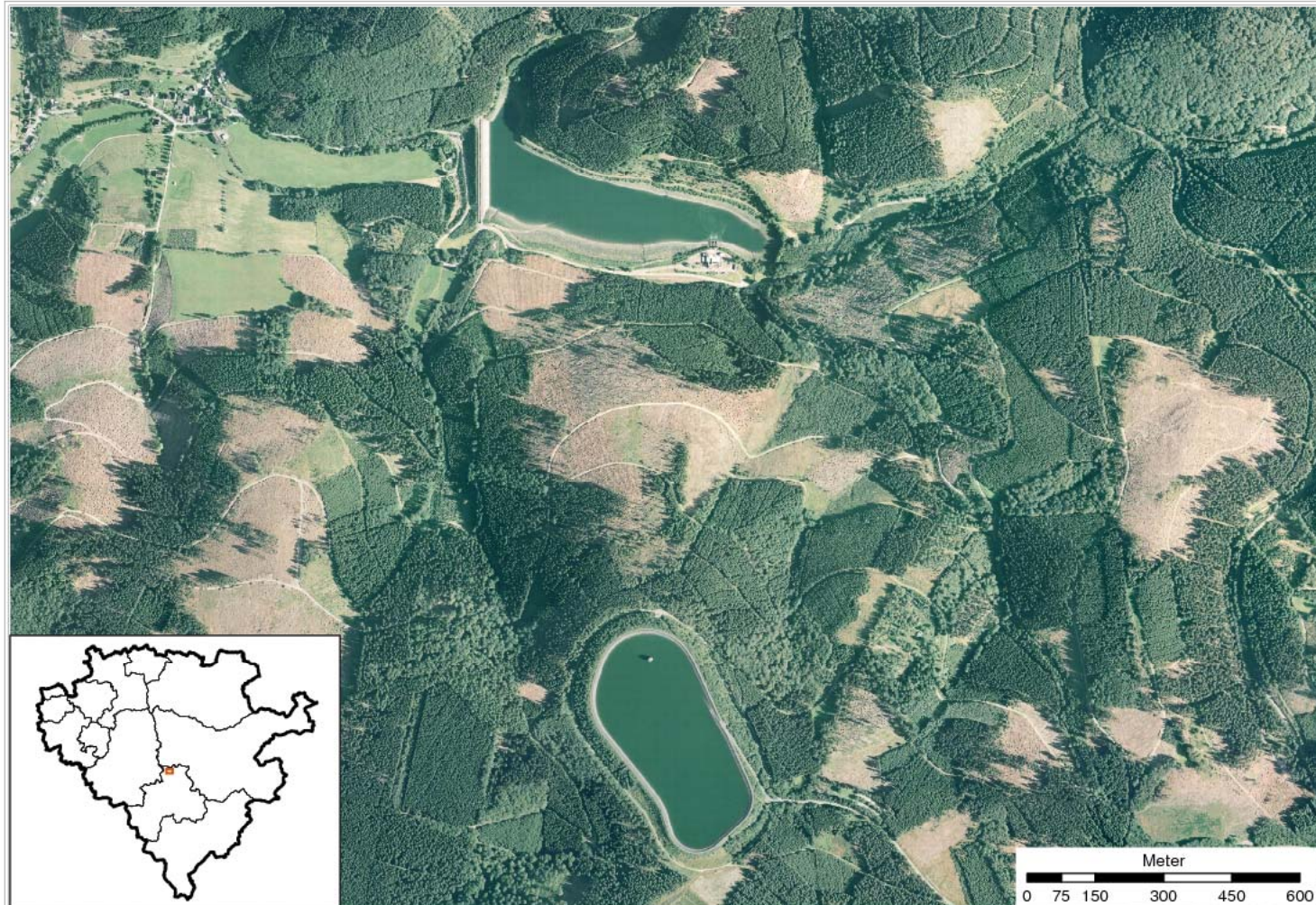
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW – Rönkhausen



Einleitung

PSKW – Herdecke

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW
Herdecke

Ausbauleistung: 153 MW
 Energieinhalt OB: 590 MWh
 Speichereinhalt: 1.600.000 m³
 Fallhöhe: 145 – 165 m
 Durchfluss: 110 m³/s (T)
 101 m³/s (P)

Quelle: RWE Power,
 Pumpspeicherkraftwerk Herdecke,
 (Broschüre)



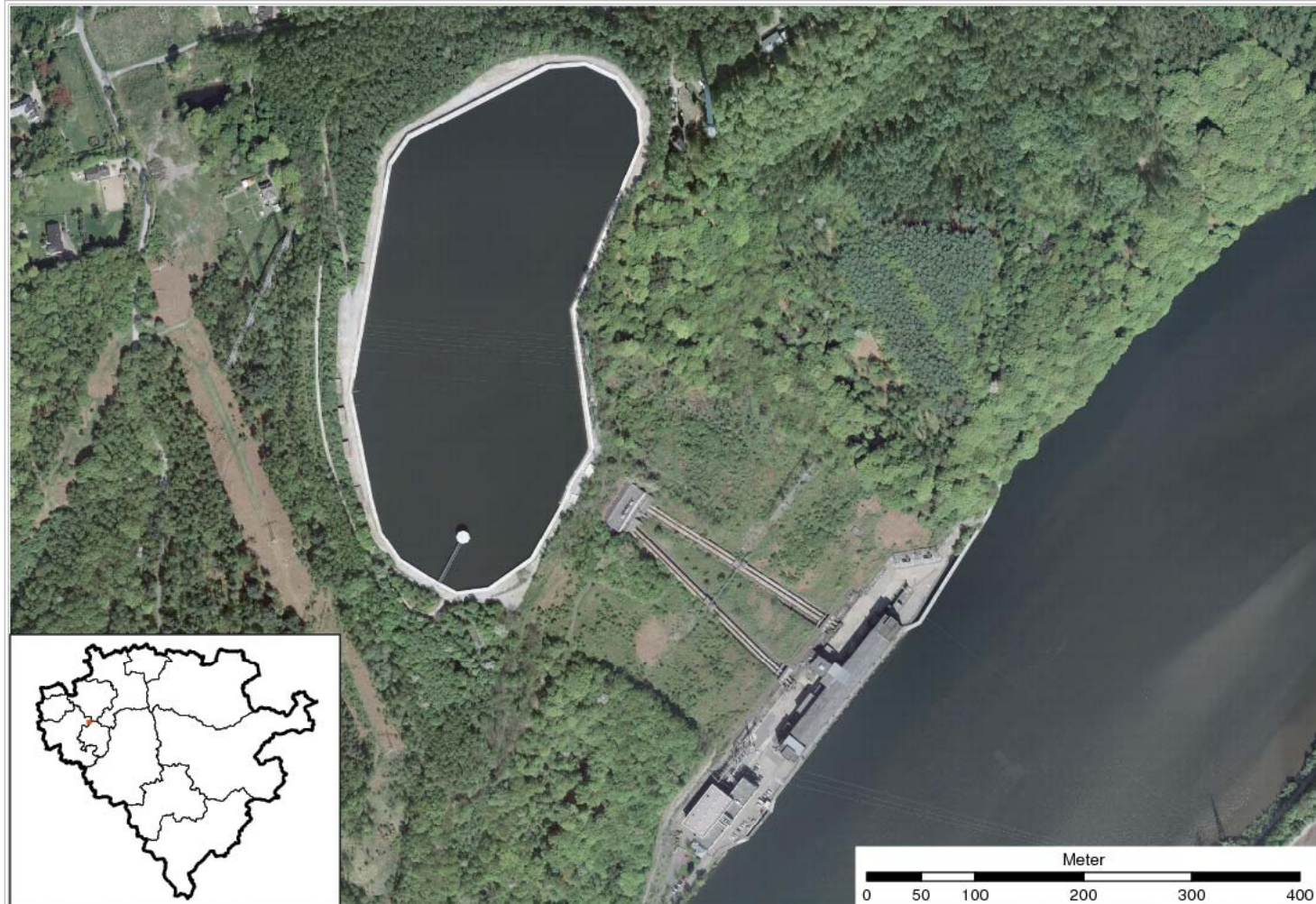
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW – Herdecke



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW – Geesthacht

PSKW
Geesthacht (Elbe)

HEW-Energiepark

Ausbauleistung: 120 MW
 Arbeitsvermögen: 534 MWh
 Speichereinhalt: 3,8 Mio. m³
 Fallhöhe: ca. 80 m



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

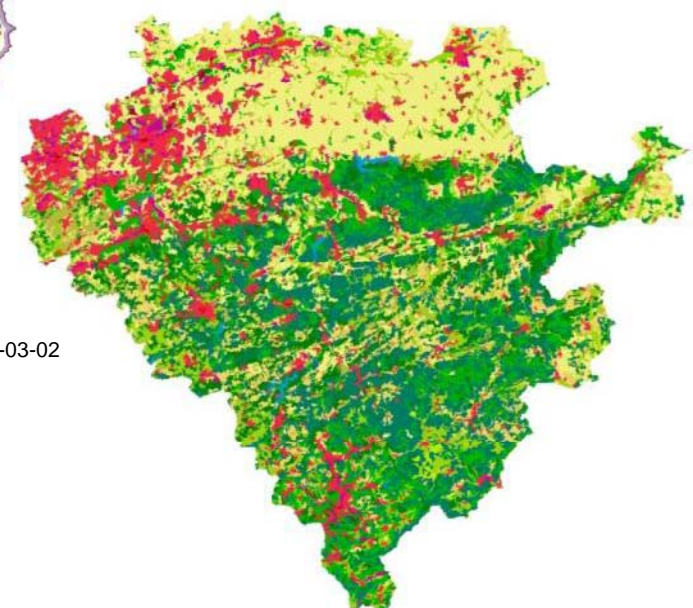
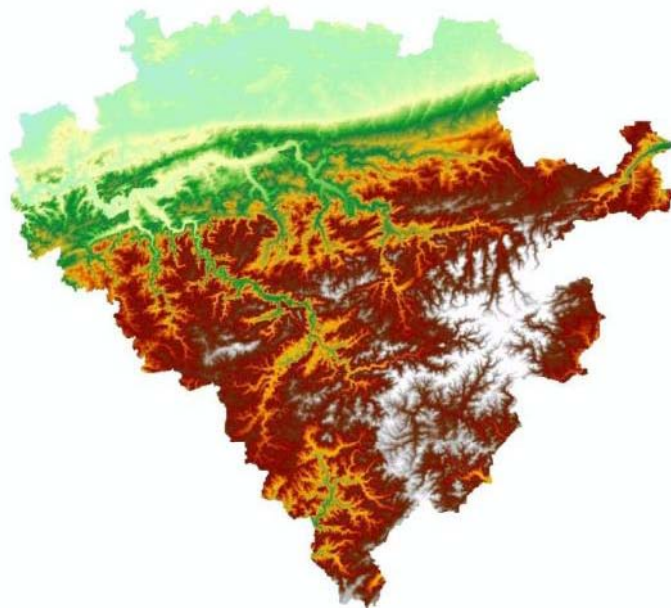
Ausblick

Untersuchungsgebiet:
Reg. Bez. **Arnsberg** (NRW)

NRW500

DGM

CLC2006



Geobasisdaten © Land NRW, Bonn 2011-03-02

Einleitung

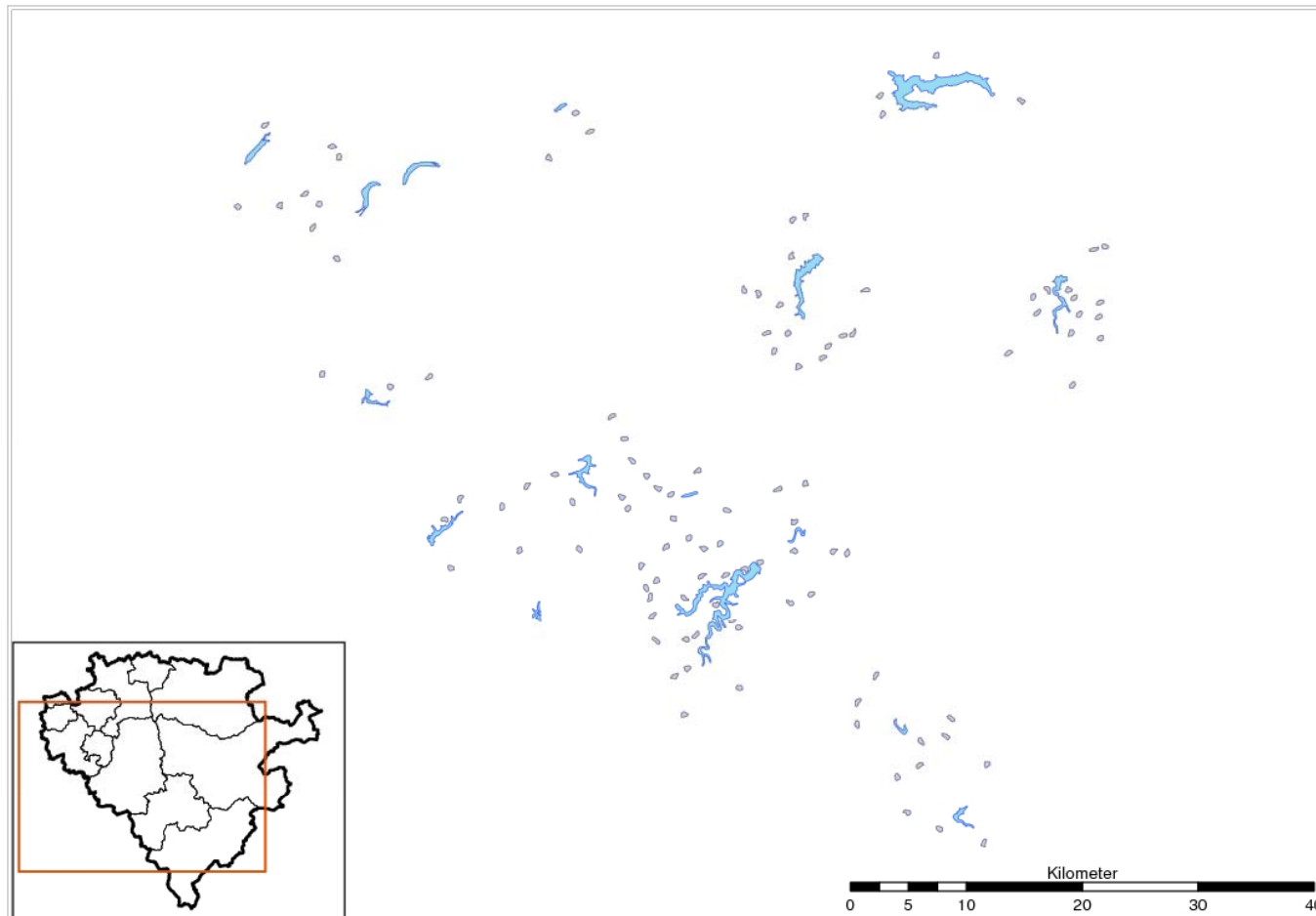
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Talsperren als Unterbecken:

Übersicht



Einleitung

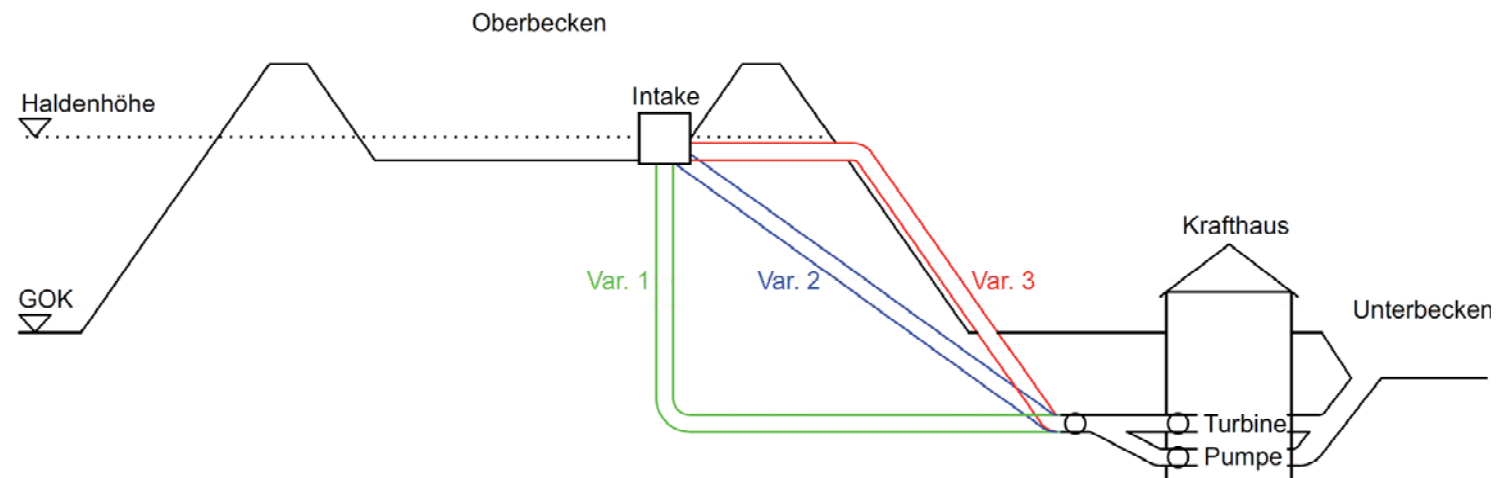
Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

PSKW – Funktion und Hauptgewerke



Einleitung

- **Grundlagen Pumpspeicherkraftwerke**

Grundlagen

- Anlagen:

Standortfindung

- Oberes Speicherbecken

Kostenannahmen

- Rohrleitungen / Druckstollen mit Einlauf- und Auslaufbauwerk

Ausblick

- Kraftwerk mit maschinentechnischen und elektrotechnischen Anlagen, wie:

- Turbine und Pumpen oder Pumpturbine,
- Armaturen,
- Generator und Motor oder Motorgenerator

- Transformator und Anschluss an das Netz (hier 10 kV, ggf. 110 kV)

- Unteres Speicherbecken

- Zufahrt und

- Nebenanlagen

Einleitung

- **Grundlagen Pumpspeicherkraftwerke**

Grundlagen

Auslegung der Anlagenleistung / Betriebsweise / Zahl der Lastwechsel:

Standortfindung

Dauer in Stunden des

Kostenannahmen

Pumpeneinsatzes/Turbineneinsatzes/Lastwechsel pro Jahr

Ausblick

12 / 8 250

8 / 6 250

8 / 4 250

Stundenspeicher
Leistungsregelung

48 / 4 x 12 50

Wochenspeicher

125 / 125 25

250 / 250 12

Monatsspeicher

Energiespeicherung

Einleitung

- **Kosten und Erträge**

Grundlagen

- Annahme zum Strompreis:

Standortfindung

Kostenannahmen

Pumpenstrom: Nachtstrom am Werktag:

5 bis 20 € / MWh

Pumpenstrom: Nachtstrom am Wochenende :

1 bis 20 € / MWh

Ausblick

Turbinenstrom: Spitzenstrom am Werktag:

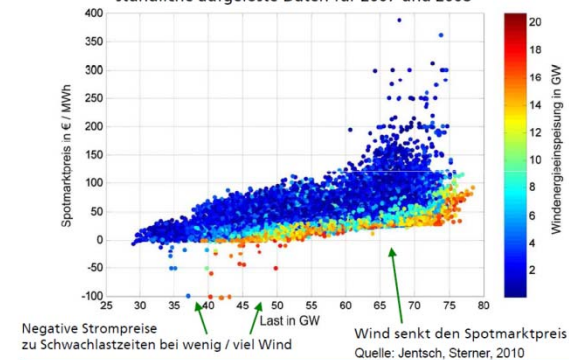
60 bis 200 € / MWh

Turbinenstrom: Spitzenstrom am Wochenende

50 bis 100 € / MWh

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

- **Kosten und Erträge**

- Annahmen zu Bau- und Investitionspreisen (globaler Ansatz):

Spezifische Kosten für Wasserkraftanlagen (WKA): 1000 bis 10.000 € / kW install

Spezifische Kosten für Pumpspeicheranlagen (PSA): 500 bis 2.000 € / kW install

davon ca. 40 bis 20 % für Maschinen und Elektroanlagen

davon ca. 60 bis 80 % für Bauanlagen

Allgemein gilt:

- je kleiner die Anlage, desto höher die spezifischen Kosten

Zum Vergleich:

- Bau von Hochwasserrückhaltebecken: 5 bis 20 € / m³ Stauvolumen

- Bau von großen Rohrleitungen / Druckstollen: 1000 € x DN / m Länge

- Annahmen zu Bau- und Investitionspreisen (Gewerke spezifisch):

Turbinenkosten =>

Umfrage bei über 20 Herstellern

Antwort: interessiert, aber keine Richtpreisangabe möglich

eigene Recherche bei WKAs ca. bis zu **1 Mio. € / MW install**

Pumpenkosten =>

Recherche läuft noch

Standard-Kreisel-Pumpen ca. bis zu **0,5 Mio. € / MW install**

Einleitung

- **Kosten und Erträge**

Grundlagen

- Annahmen zu Bau- und Investitionspreisen (Gewerke spezifisch):

Standortfindung

Oberes Becken =>	Erdarbeiten Aushub / Planung:	5 bis 20 € / m ³
	Erdarbeiten Dammschüttung:	5 bis 20 € / m ³
	Dichtung Asphaltbeton:	30 bis 100 € / m ²
Unteres Becken =>	Erdarbeiten Aushub / Planung:	5 bis 20 € / m ³
	Erdarbeiten Dammschüttung:	5 bis 20 € / m ³
	Dichtung Asphaltbeton:	30 bis 100 € / m ²

Kostenannahmen

Ausblick

Einleitung

- **Kosten und Erträge**

Grundlagen

Standortfindung

- **Kostenberechnung auf Basis von Jahreskosten:**

Kostenannahmen

- **laufende Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) und Basispreis für Pumpstrom $p = 20$ Euro / MWh,**

Ausblick

- **Ertrag in Euro pro Jahr**
- **mit einem Preis für Spitzenstrom $p = 80$ Euro / MWh**
- **250 Tage mit Lastzyklen und**
- **Einsatzdauer von 4 / 6 / 8 und 12 Stunden Turbinenbetrieb**
-
- **bei einem Speichervolumen von $V = 0,5 / 1,0 / 1,5$ Mio m^3**
- **und für eine Fallhöhe von $H = 50 / 100 / 150$ m**
- **Ergebnisdarstellung: Rendite zur Bedienung der Kapitalkosten**

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

Kostenberechnung auf Jahreskosten:

Maximal erzielbare Rendite bei 12 Stunden Turbinenbetrieb

Speichervolumen V =		0,5 /	1,0 /	1,5	Mio. m ³
Fallhöhe H =	50 m	---	1,9%	2,9%	
	100 m	1,2%	3,1%	4,3%	
	150 m	2,4%	4,5%	5,8%	

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

Kostenberechnung auf Jahreskosten:

Maximal erzielbare Rendite bei 12 Stunden Turbinenbetrieb

Speichervolumen V =		0,5 /	1,0 /	1,5	Mio. m ³
Fallhöhe H =	50 m	---	1,9%	2,9%	
	100 m	1,2%	3,1%	4,3%	
	150 m	2,4%	4,5%	5,8%	

Kosten je umgelagerter MWh bei Pumpstromkosten von $p = 20$ Euro/ MWh, Kapitalzinskosten von 3 % und Betriebserhaltungskosten von 2 % der Investionssumme

Einleitung

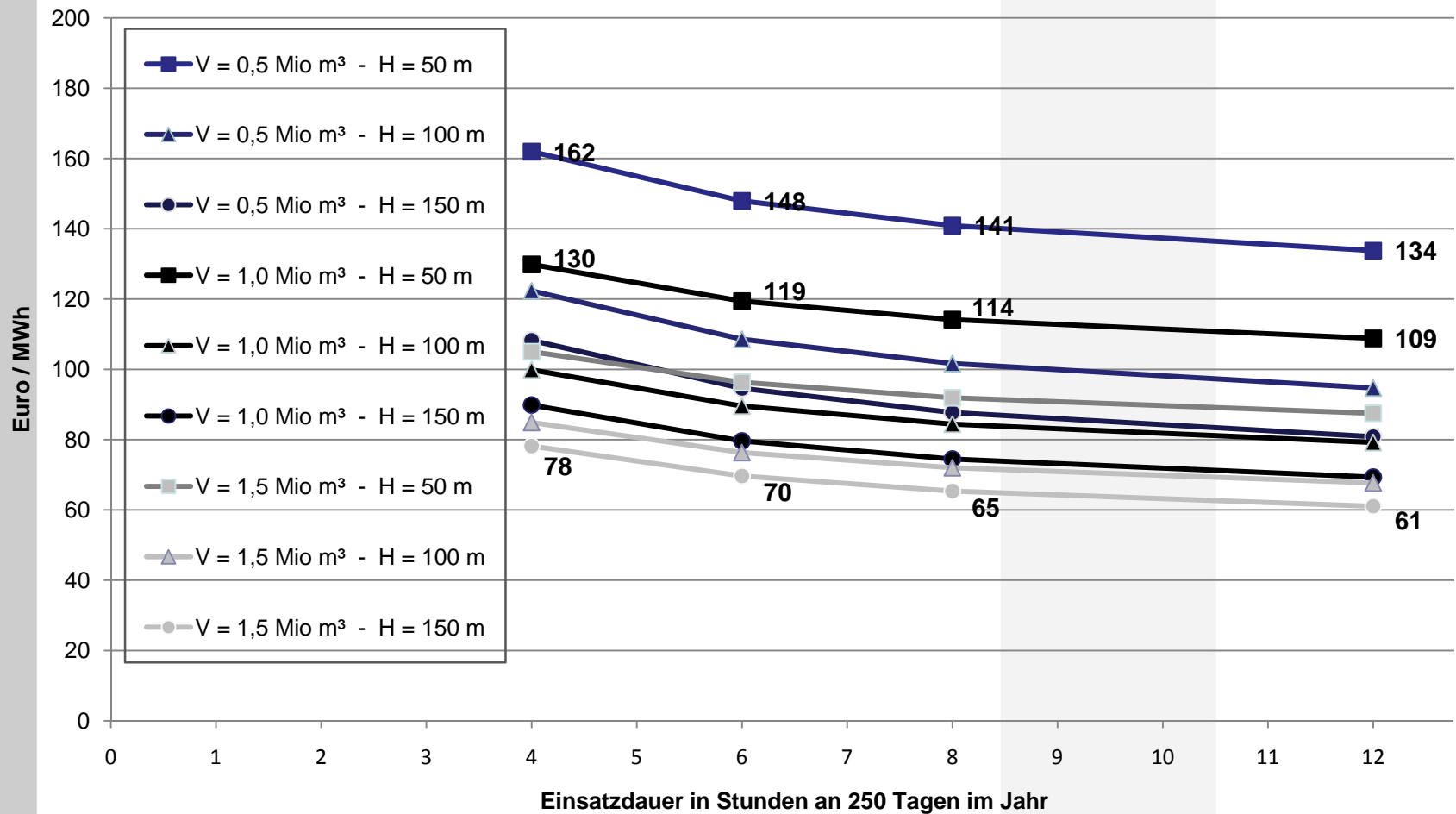
Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

Kosten je umgelagerter MWh bei Pumpstromkosten von $p = 20$ Euro/ MWh, Kapitalzinskosten von 3 % und Betriebserhaltungskosten von 2 % der Investitionssumme , und bei einem Speichervolumen von 0,5 bis 1,5 Mio. m³ und Fallhöhen von $H = 50$ bis 150m



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

Fazit und Ausblick:

- Kosten für kleine Pumpspeicher sind für die Leistungsregelung und vor allem auch für die Energiespeicherung für den heutigen Markt zu hoch. Eventuell ein **Marktanreizsystem** schaffen
 - Zum Beispiel RE in = RE out !!!
- **Forschungsbedarf** für Kostenreduzierung bei
 - Turbinen, Pumpen, Elektronik
 - Oberflächendichtungen, Rohrleitungen,
 - Optimierung der Betriebsweise
- Ohne Speicher keine erneuerbare Energie !
- Heute anfangen, sonst kommt das Jahr 2050 ohne 100 Prozent erneuerbare Energie !

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Kostenannahmen

Ausblick

Fazit und Ausblick:

- Kosten für kleine Pumpspeicher sowohl für Leistungsregelung und vor allem auch für Energiespeicherung zu hoch für den heutigen Markt
Eventuell **Marktanreizsystem** schaffen
 - Zum Beispiel RE in = RE out !!!
- **Forschungsbedarf** für Kostenreduzierung bei
 - Turbinen, Pumpen, Elektronik
 - Oberflächendichtungen, Rohrleitungen,
 - Betriebsweise

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!