

# Kann und soll sich die Schweiz mit 100% erneuerbarem Strom versorgen?

**Prof. Dr. Anton Gunzinger**  
**Supercomputing Systems AG**  
Technoparkstrasse 1  
CH-8005 Zürich  
Tel. 043 456 16 00  
Fax 043 456 16 10

[info@scs.ch](mailto:info@scs.ch)

[www.scs.ch](http://www.scs.ch)

**Vision trifft Realität.**

Supercomputing Systems AG  
Technopark 1  
8005 Zürich

Phone +41 43 456 16 00  
Fax +41 43 456 16 10  
[www.scs.ch](http://www.scs.ch)



super computing systems

# Meine Motivation

- Die Schweiz – ein materielles Paradies.
- Mein Wunsch: Unsere Nachfahren können auch so leben.
- 2 Probleme:
- Unser Ökologischer Fussabdruck



- «Peak Oil»

# Lösungsansätze

- Plan A: Weiter wie bisher: Kleine auserwählte Elite kann so leben wie wir, der Rest der Welt muss in Armut leben.
- Reduktion der Weltbevölkerung um den Faktor 4.
- Plan B: Reduktion unseres Fussabdruckes auf eine halbe Erde.
- Nichterneuerbare Energien → 65% des ökologischen Fussabdruckes.



## Weshalb sollen wir unseren Fussabdruck reduzieren?

- Volkswirtschaftlich sinnvoll:  
Statt jährlich 13 – 15 Mia CHF für importierte nichterneuerbare Energie auszugeben (in 20 Jahren 260 – 300 Mia CHF) investieren wir landesintern.
- Ökonomisch sinnvoll:  
Wir schaffen gute Arbeitsplätze landesintern.
- Ökologisch sinnvoll:  
Wir reduzieren unseren CO<sub>2</sub> Ausstoss.  
Unseren Nachfahren stehen immer noch wertvolle nichterneuerbare Ressourcen zur Verfügung.
- Politisch sinnvoll:  
Wir sind nicht erpressbar durch teilweise dubiose Staaten wie Saudi Arabien, Russland und USA.

# Herausforderungen

- Wir verbrauchen heute 80% nichterneuerbare Energie (260 TWh/a) .
- Wärme (59 TWh/a Öl und 35 TWh/a Gas)  
→ Wir sind auf dem guten Weg  
(Isolation Faktor 4-5, Wärmepumpe Faktor 4-5, Erneuerungsrate 1%/a)
- Kernenergie (77 TWh/a Primärenergie → 24 TWh/a Strom)  
→ wir werden aus ökonomischen Gründen aussteigen
- Individuelle Mobilität (71 TWh/a)  
→ da passiert genau nichts
- Flugverkehr (18 TWh/a)  
Wir hier nicht betrachtet

# Voraussage Verbrauch von elektrischer Energie in der Schweiz 2035

|   | Verbrauch [TWh/a] |
|---|-------------------|
| <b>Verbrauch heute</b>  | <b>60</b>         |
| <b>Einsparpotential (25%)</b>   | <b>-15</b>        |
| <b>Wärme Mehrverbrauch</b><br>Verbrauch heute: 94 TWh/a (Gas und Öl)<br>Einsparpotential: Isolation Faktor 4, Wärmepumpen Faktor 4<br>Zusätzlicher Stromverbrauch: 6 TWh/a  | <b>+6</b>         |
| <b>Mobilität Mehrverbrauch</b><br>Verbrauch heute: 70 TWh/a<br>Einsparpotential: Verhalten Faktor 2, serieller Hybrid Faktor 4<br>Rein Elektrizität: 2/3 (Öl 3 TWh), weiterer Faktor 2 gegenüber seriellem Hybrid<br>Zusätzlicher Stromverbrauch: 3 TWh/a | <b>+3</b>         |
| <b>TOTAL</b>  | <b>54</b>         |
| <b>Bevölkerungswachstum</b><br>Heute: 7.6 Mio Einwohner; Morgen: 8.5 Mio Einwohner  | <b>60</b>         |

## 1.0 Elektrizität Ausgangslage

- Der Ausbau der Stromproduktion in Deutschland hat zu einem massiven Preiszerfall im Strommarkt geführt
- Die Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland hat zu einem Preiszerfall bei erneuerbarer Stromproduktion geführt (z.B. bei Photovoltaik um den Faktor 5)
- Der Super-GAU in Fukushima hat die Versicherungskosten von Atomkraft massiv erhöht (Faktor 100)

## 1.1 Die Speicherfrage

- Kernkraftwerke liefern Bandstrom. Kann dieser durch hochvolatile Stromerzeuger wie PV und Wind ersetzt werden?
- Wie viel zusätzlicher Speicher ist in diesem Fall für die Schweiz notwendig?
- Was kostet der Speicherausbau?
- Können wir dann noch Stromhandel mit Europa betreiben?
- Wie kann das Netz mit hochvolatilen Stromerzeugern (PV und Wind) umgehen?

## 1.2 Vorgehensweise

Vorgehensweise aus Sicht eines einfachen Ingenieurs

1. Basis ist Physik (Leistungsbilanz & Energiebilanz)

2. Ziel einer Energiepolitik: sichere und kostengünstige Versorgung mit (erneuerbarer) Energie. Kostengünstig → minimale volkswirtschaftliche Kosten (davon profitieren alle)

3. Welche Rahmenbedingungen muss die Politik schaffen, um das System in Richtung minimaler volkswirtschaftlicher Kosten zu bewegen?

## 1.3 Zielsetzung der Simulationsumgebung

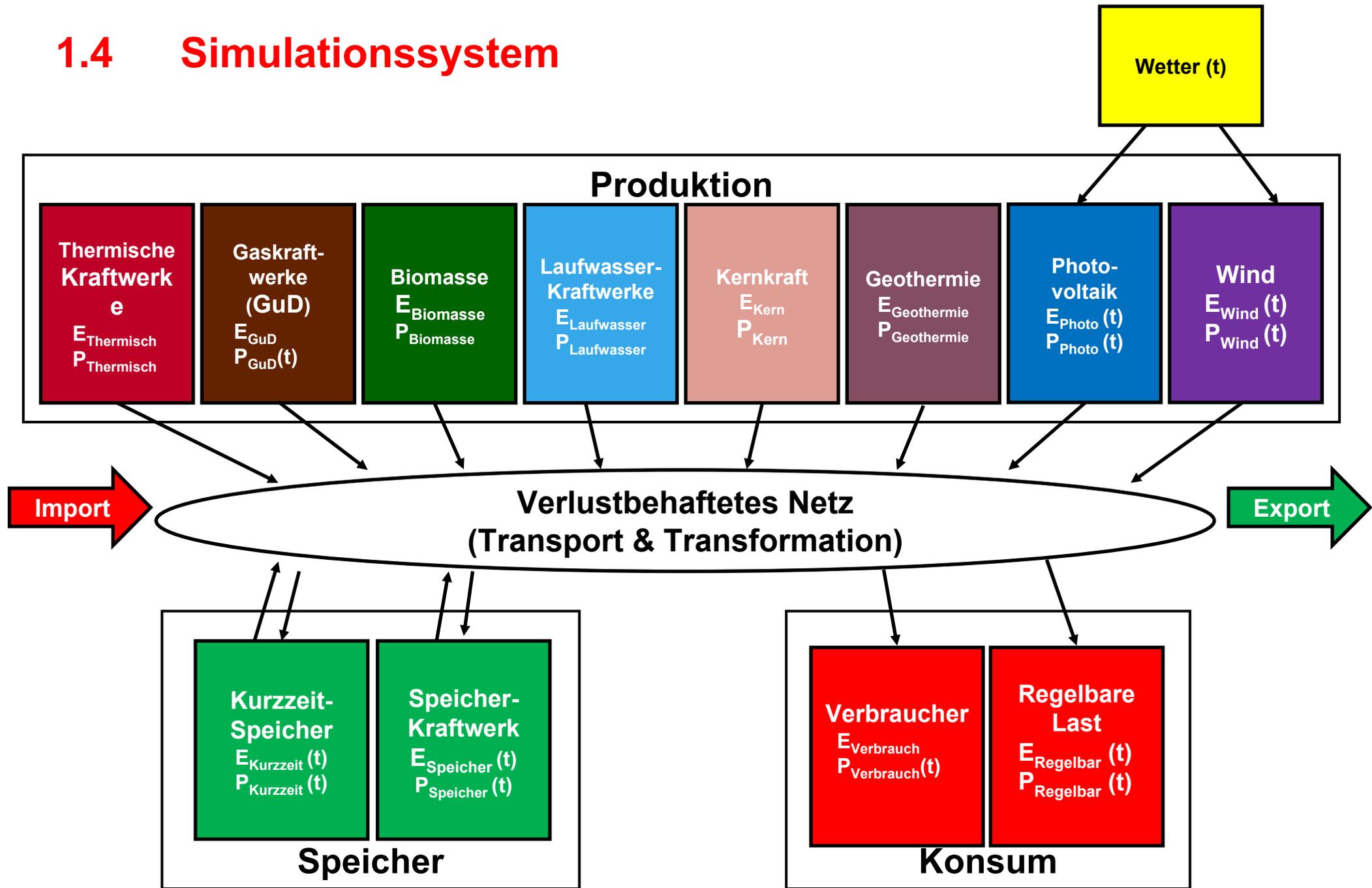
Untersuchung von:

1. Energiebilanz
2. Leistungsbilanz
3. Volkswirtschaftliche Kosten
4. Stromhandel
5. Netzbelastung

Simulation möglicher Szenarien:

- 1.«Weiter wie bisher» (WWB)
2. Erneuerung der Kernenergie
3. Energieszenarien des Bundes
4. Primär Photovoltaik
5. 100% erneuerbare Energie
6. Dezentrale Speicherung
7. Lastverschiebung

# 1.4 Simulationssystem



## 1.5 Soll die Schweiz Strom-Selbstversorger sein?



- Mehr Entscheidungsspielraum
- Nicht erpressbar
- Höhere Handelserträge  
(Stärkere Position beim Handeln)
- Vorbildfunktion



- Abhängig vom 'good will' der Nachbarländer
- Erpressbar
- Kaufdruck bei ungünstigen Bedingungen
- Tiefere Handelserträge
- Alles hat einen Preis...

Das Volk wird entscheiden.

## 1.7 Grundlagen aller Simulationen

- Verbrauchsstatistik 2010 (Zeitauflösung 15'): swissgrid (60 TWh/a)
- Produktionsstatistik 2010 (Zeitauflösung 1 Tag – 1 Woche):  
Bundesamt für Energie und swissnuclear
- Speicherseen Füllgrad-Statistik 2010 (Zeitauflösung 1 Woche):  
Bundesamt für Energie
- Solar/Wind-Statistik CH (Jahresverlauf mit Zeitauflösung 1'): meteonorm  
(40 Standorte für PV: 20 in Städten, 20 auf Bergen; 20 Standorte für Wind)
- Ausbau Speicherseen auf 10 TWh wie geplant
- Ausbau Pumpspeicherwerke auf 5GW/ 200 GWh wie geplant
- Netzbelastung: gemäss EWZ, hochgerechnet auf die Schweiz
- Berücksichtigt: Netzbelastung, Netzverluste, Speicherverluste  
Pumpspeicherwerke, Speicherverluste lokale Speicherung
- Inselbetrachtung (wird erweitert um Stromhandel)

## 1.8 Simulation: Spielregeln für die Kraftwerke

### Deckung des Bedarfs nach Prioritäten

1. Thermische Kraftwerke, Laufwasserkraft, Kernkraftwerke (optional)
2. PV (optional) und Wind (optional)
3. Lokale Batterien
4. Pumpspeicherwerke
5. Gaskraftwerke (optional), Biomasse (optional)
6. Stauseen

### Verwendung bei Überproduktion nach Prioritäten

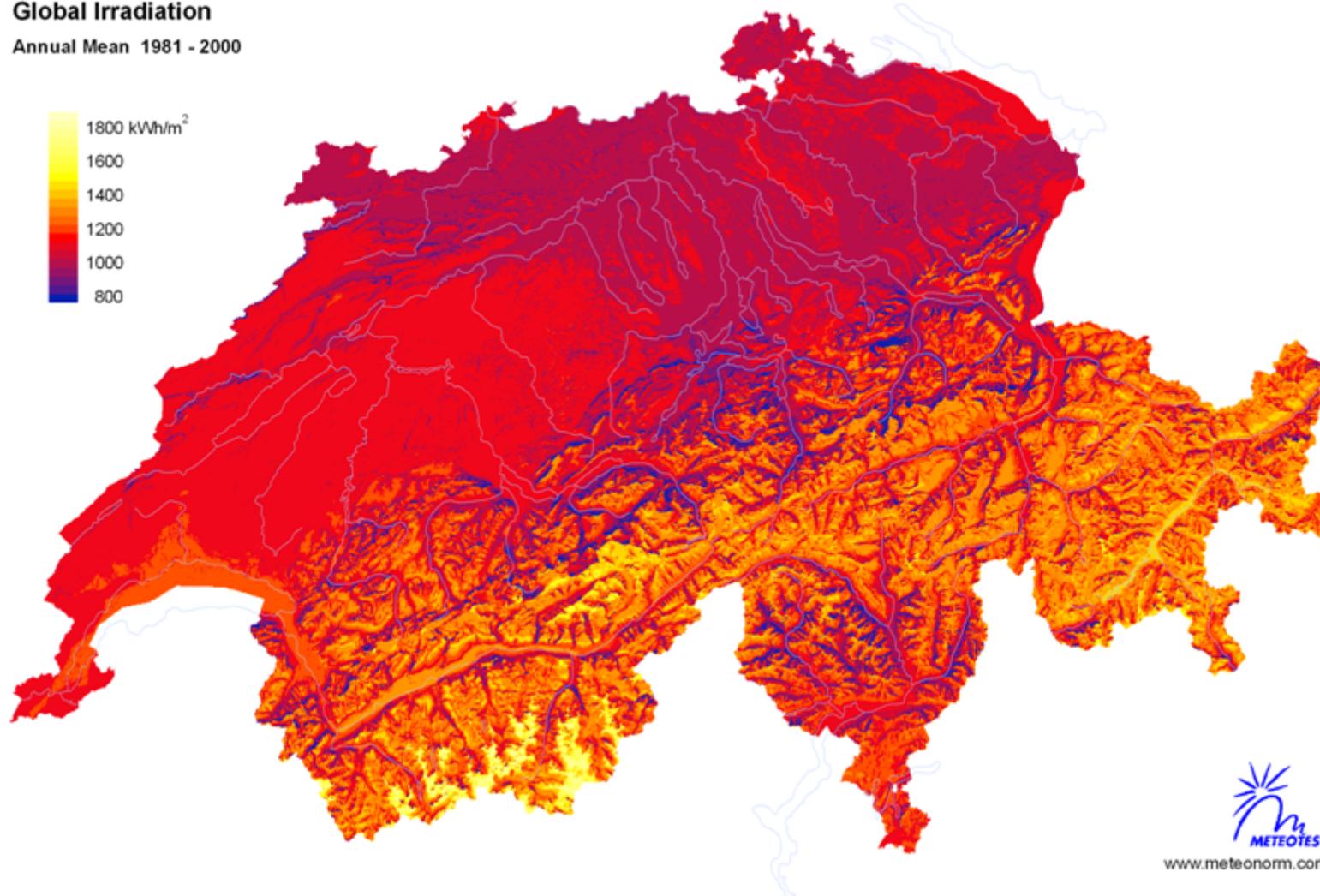
1. Überschuss in dezentralen Batterien speichern
2. Weiteren Überschuss in Pumpspeicherseen pumpen  
(Stauseen werden primär für den Jahresausgleich verwendet)
3. Restlicher Überschuss ins Ausland verkaufen
4. «wegwerfen»

### Lastverschiebung

Falls am aktuellen Tag ein Überschuss absehbar ist, soll er zunächst möglichst durch verschobene Last abgefangen werden.

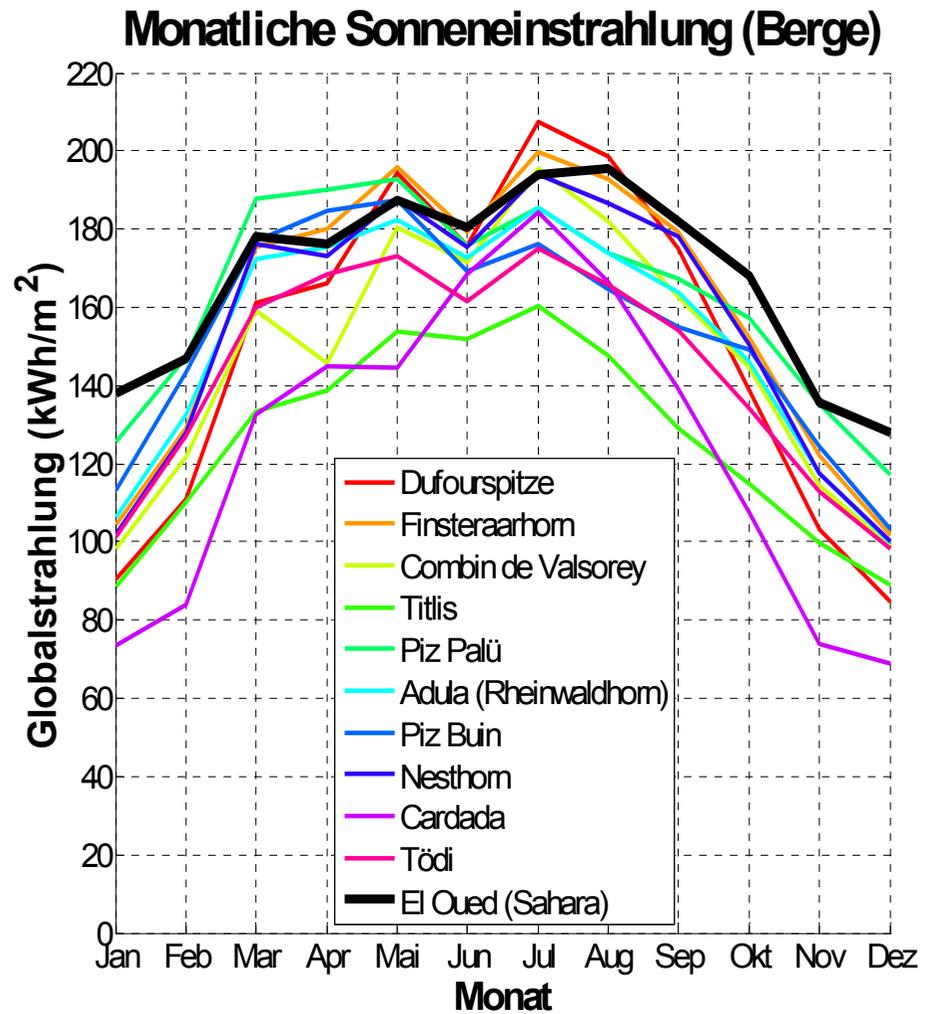
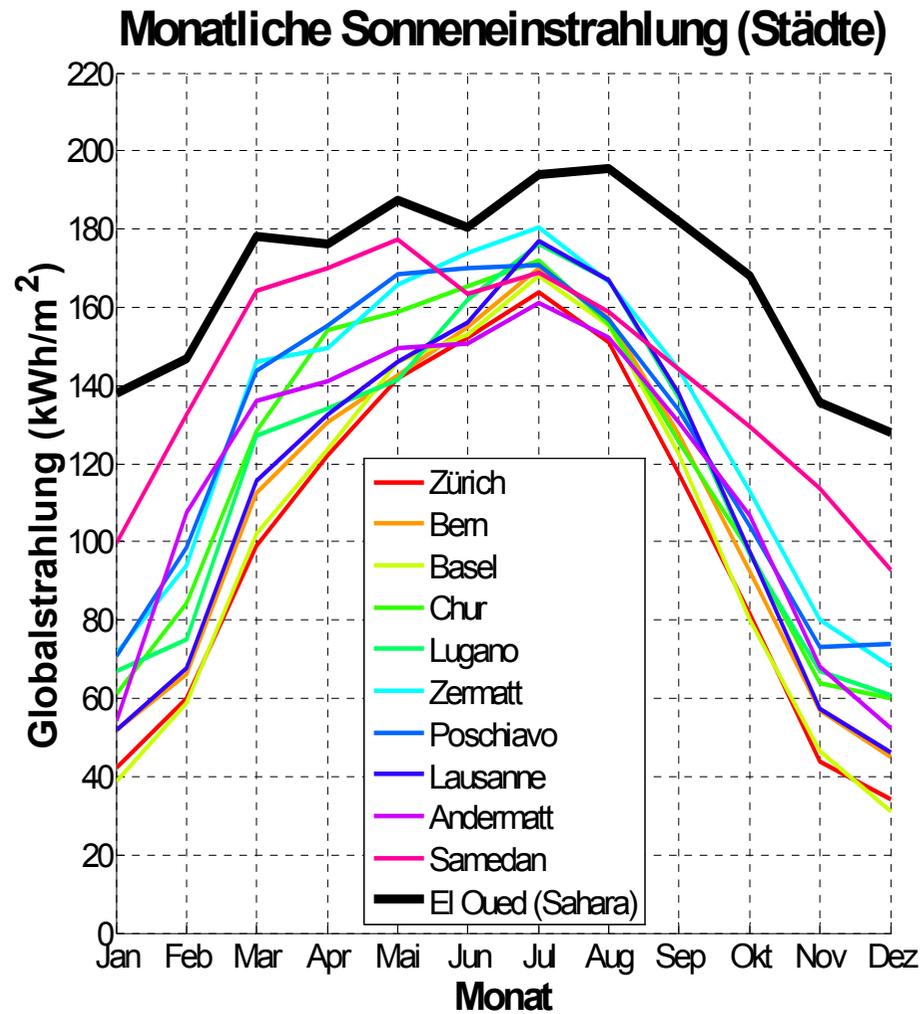
# 1.9 Jährliche Globalstrahlung

Global Irradiation  
Annual Mean 1981 - 2000



super computing systems

# 1.10 Monatliche Globalstrahlung



## 2.0 Simulierte Szenarien

1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

## 2.1 Simulierte Szenarien

1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

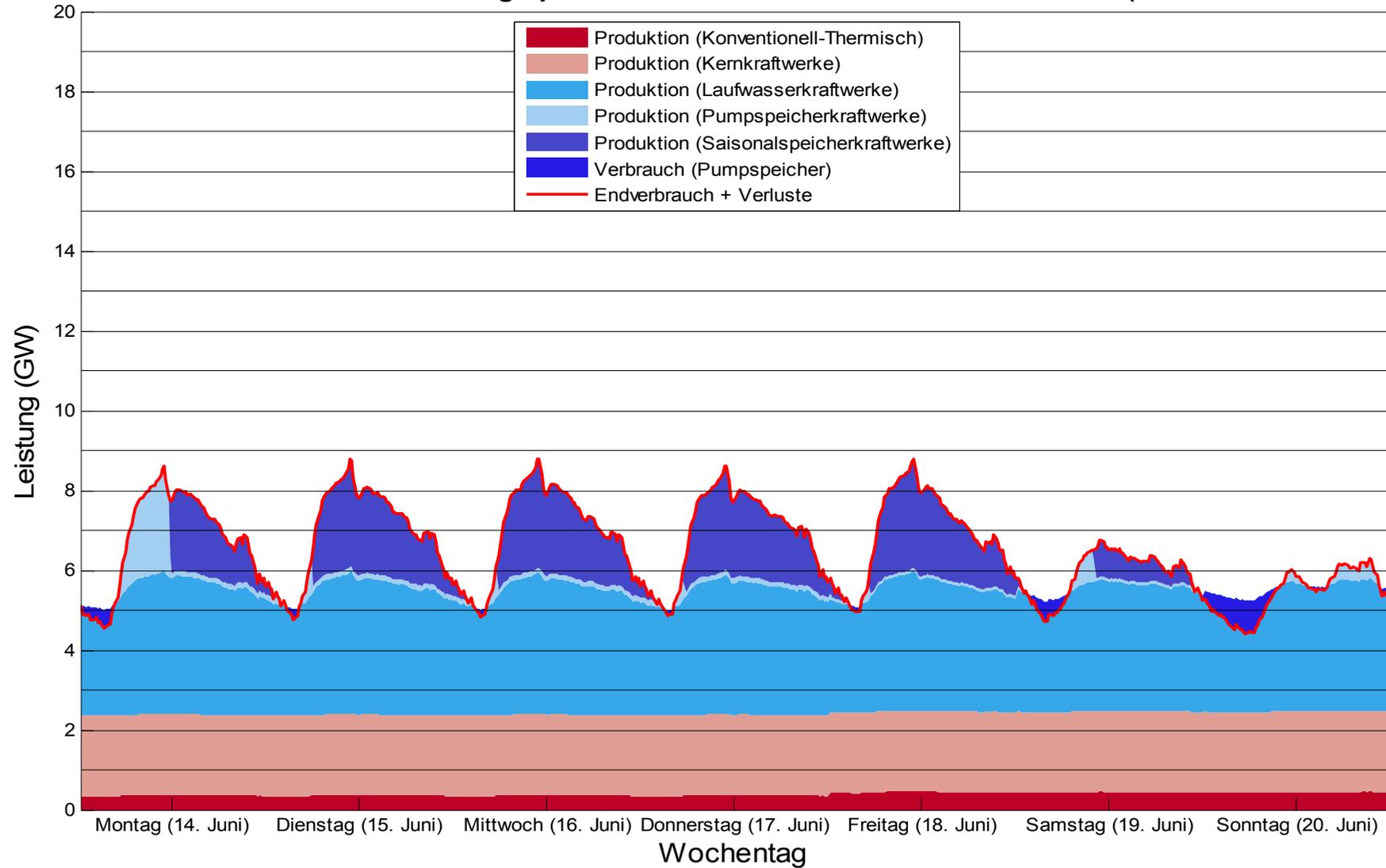
## Simulations Parameter (WeiterWieBisher)

### Szenario: WeiterWieBisher -

| Parameter                         |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Produktion Thermisch              | 3.70 TWh  |
| Leistung Nuklear                  | 3.43 GW   |
| Produktion Laufwasser             | 16.60 TWh |
| Leistung Biomasse                 | 0.00 GW   |
| Leistung Geoelektrisch            | 0.00 GW   |
| Leistung Solar Dach               | 0.00 GW   |
| Leistung Solar Berg               | 0.00 GW   |
| Leistung Wind                     | 0.00 GW   |
| Leistung Gas                      | 0.00 GW   |
| Kapazität Saisonalspeicher        | 10.00 TWh |
| Turbinenleistung Saisonalspeicher | 8.50 GW   |
| Kapazität Pumpspeicher            | 0.20 TWh  |
| Turbinenleistung Pumpspeicher     | 5.00 GW   |
| Pumpenleistung Pumpspeicher       | 5.00 GW   |
| Kapazität Batteriespeicher        | 0.00 GWh  |
| Eingangsleistung Batteriespeicher | NaN GW    |
| Ausgangsleistung Batteriespeicher | NaN GW    |
| Endverbrauch                      | 60.00 TWh |
| Verschiebbarer Lastanteil         | 0.00 %    |

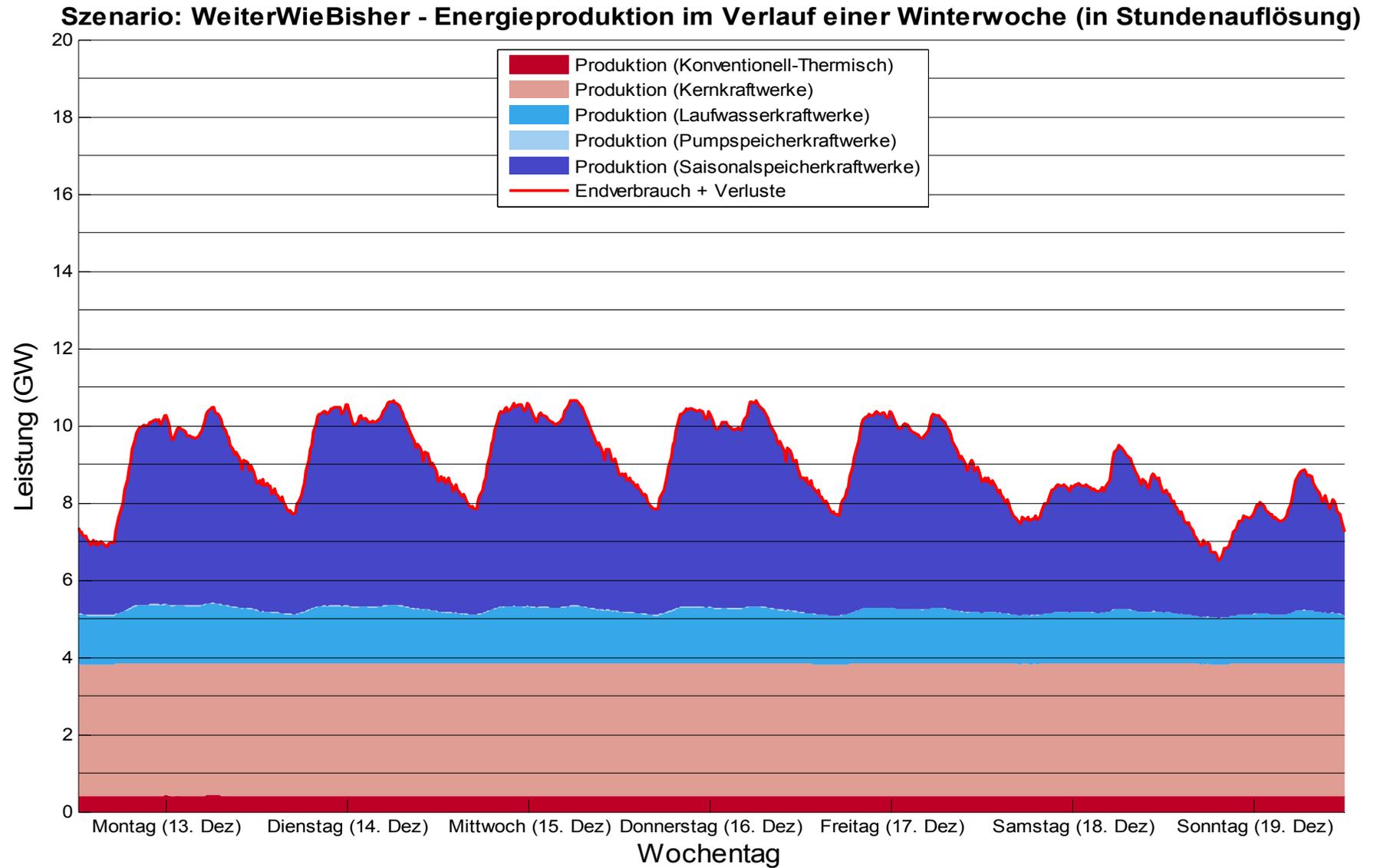
# Verlauf einer Sommerwoche (WeiterWieBisher)

Szenario: WeiterWieBisher - Energieproduktion im Verlauf einer Sommerwoche (in Stundenauflösung)



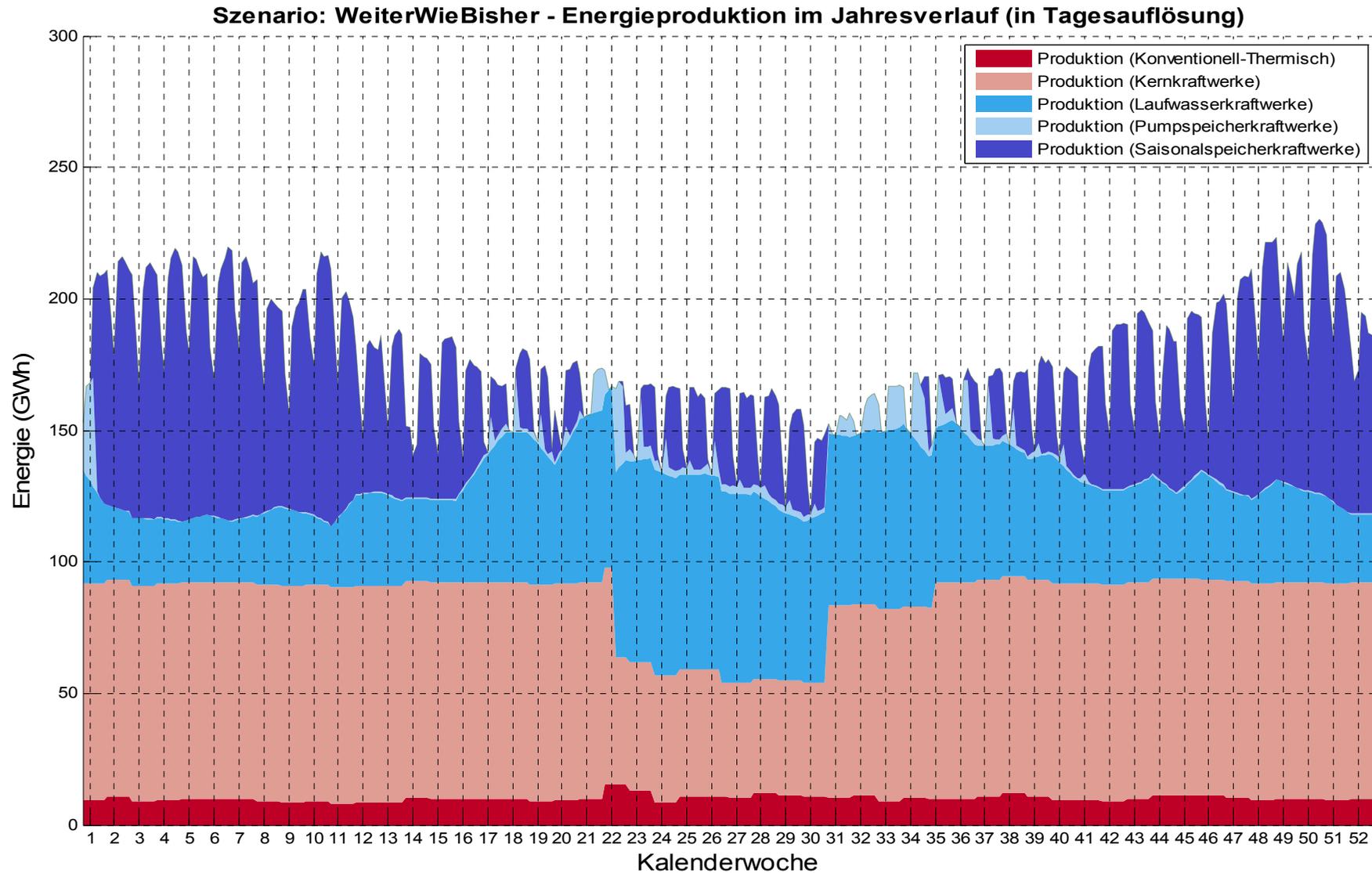
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Verlauf einer Winterwoche (WeiterWieBisher)



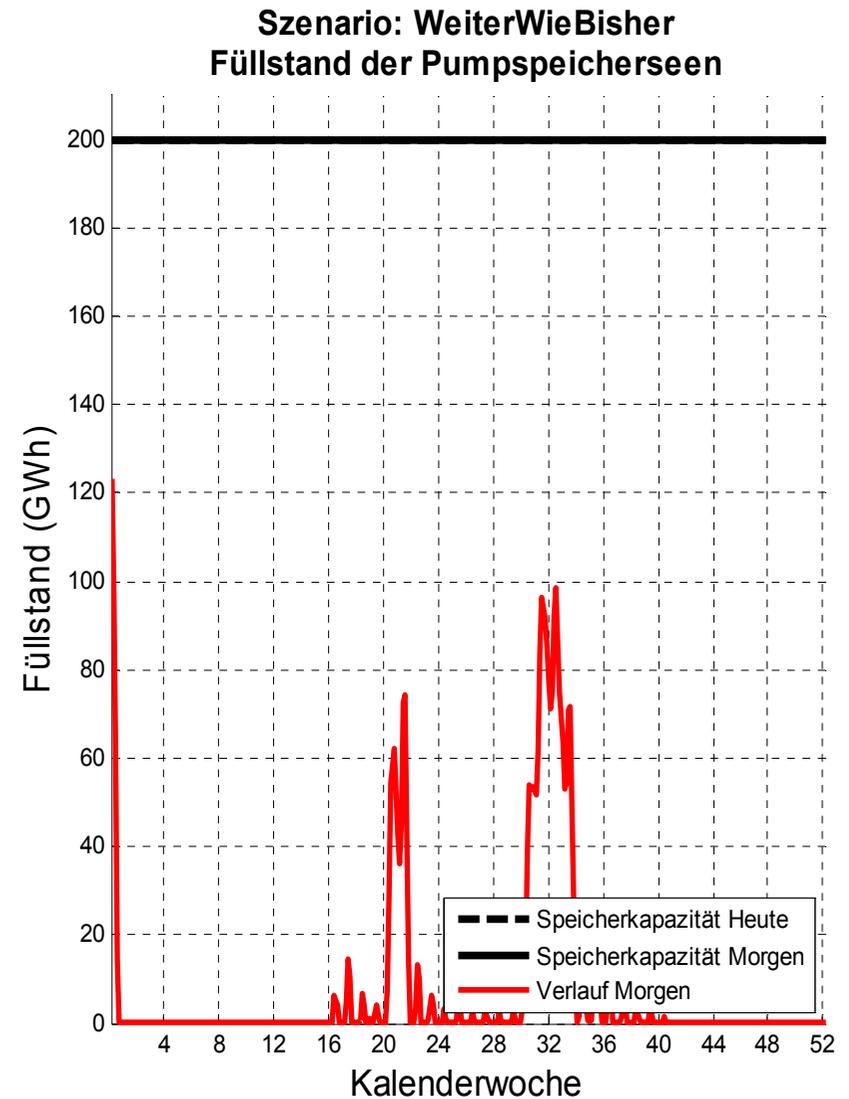
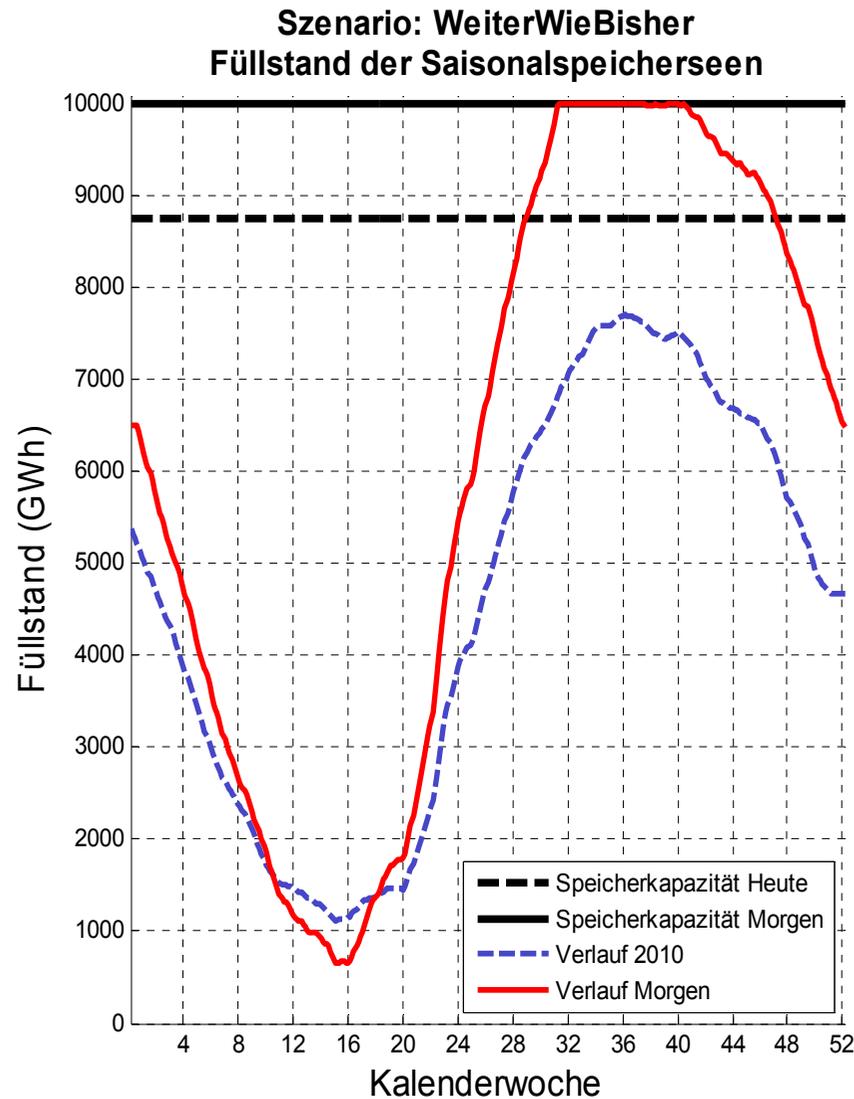
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Energieproduktion im Jahresverlauf (WeiterWieBisher)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Füllstand der Speicherseen (WeiterWieBisher)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Jahresbilanz (WeiterWieBisher)

Szenario: WeiterWieBisher - Energiebilanz

| Produktion       |                     |               |                 |                 | Konsum                             |                           |                             |                           |                 |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
|                  | installiert<br>(GW) | Jahr<br>(TWh) | Sommer<br>(TWh) | Winter<br>(TWh) |                                    | installiert<br>(GW)       | Jahr<br>(TWh)               | Sommer<br>(TWh)           | Winter<br>(TWh) |
| Thermisch        | NaN                 | 3.70          | 1.94            | 1.76            | Endverbraucher                     | NaN                       | 60.00                       | 27.14                     | 32.86           |
| Nuklear          | 3.43                | 27.58         | 12.59           | 14.98           | Verlust                            | NaN                       | 3.47                        | 1.50                      | 1.97            |
| Laufwasserkraft  | 3.70                | 16.60         | 10.81           | 5.79            | Pumpspeicher                       | 5.00                      | 0.82                        | 0.80                      | 0.02            |
| Saisonalspeicher | 8.50                | 15.30         | 3.18            | 12.12           | Batteriespeicher                   | NaN                       | 0.00                        | 0.00                      | 0.00            |
| Pumpspeicher     | 5.00                | 1.11          | 0.90            | 0.21            | Waste                              | NaN                       | 0.00                        | 0.00                      | 0.00            |
| Geoelektrisch    | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            | Total                              | NaN                       | 64.28                       | 29.43                     | 34.85           |
| Biomasse         | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            | <b>Details zu den Speicherseen</b> |                           |                             |                           |                 |
| Solar Dach       | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            | Überlauf Sp.seen<br>(GWh)          | Sp.-Delta (2010)<br>(GWh) | Sp.-Delta (Simul.)<br>(GWh) | Netto Exportpot.<br>(TWh) |                 |
| Solar Berg       | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            | 738.66                             | -722.00                   | -45.02                      | 0.69                      |                 |
| Wind             | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            |                                    |                           |                             |                           |                 |
| Gas              | 0.00                | 0.00          | 0.00            | 0.00            |                                    |                           |                             |                           |                 |
| Batteriespeicher | NaN                 | 0.00          | 0.00            | 0.00            |                                    |                           |                             |                           |                 |
| Defizit          | NaN                 | 0.00          | 0.00            | 0.00            |                                    |                           |                             |                           |                 |
| Total            | NaN                 | 64.28         | 29.43           | 34.85           |                                    |                           |                             |                           |                 |

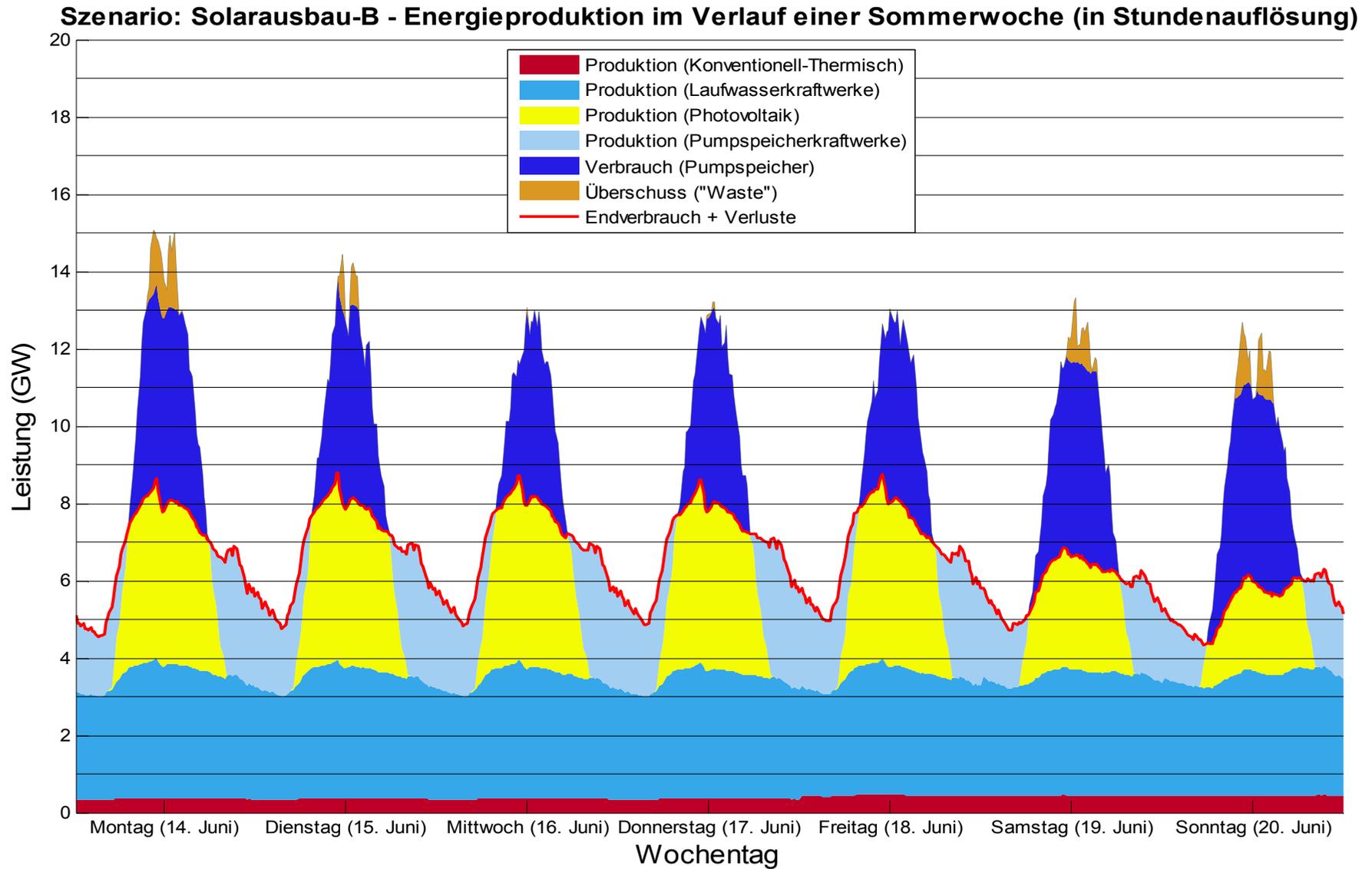
## 2.2 Simulierte Szenarien

1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

## Parameter (nur Solarausbau)

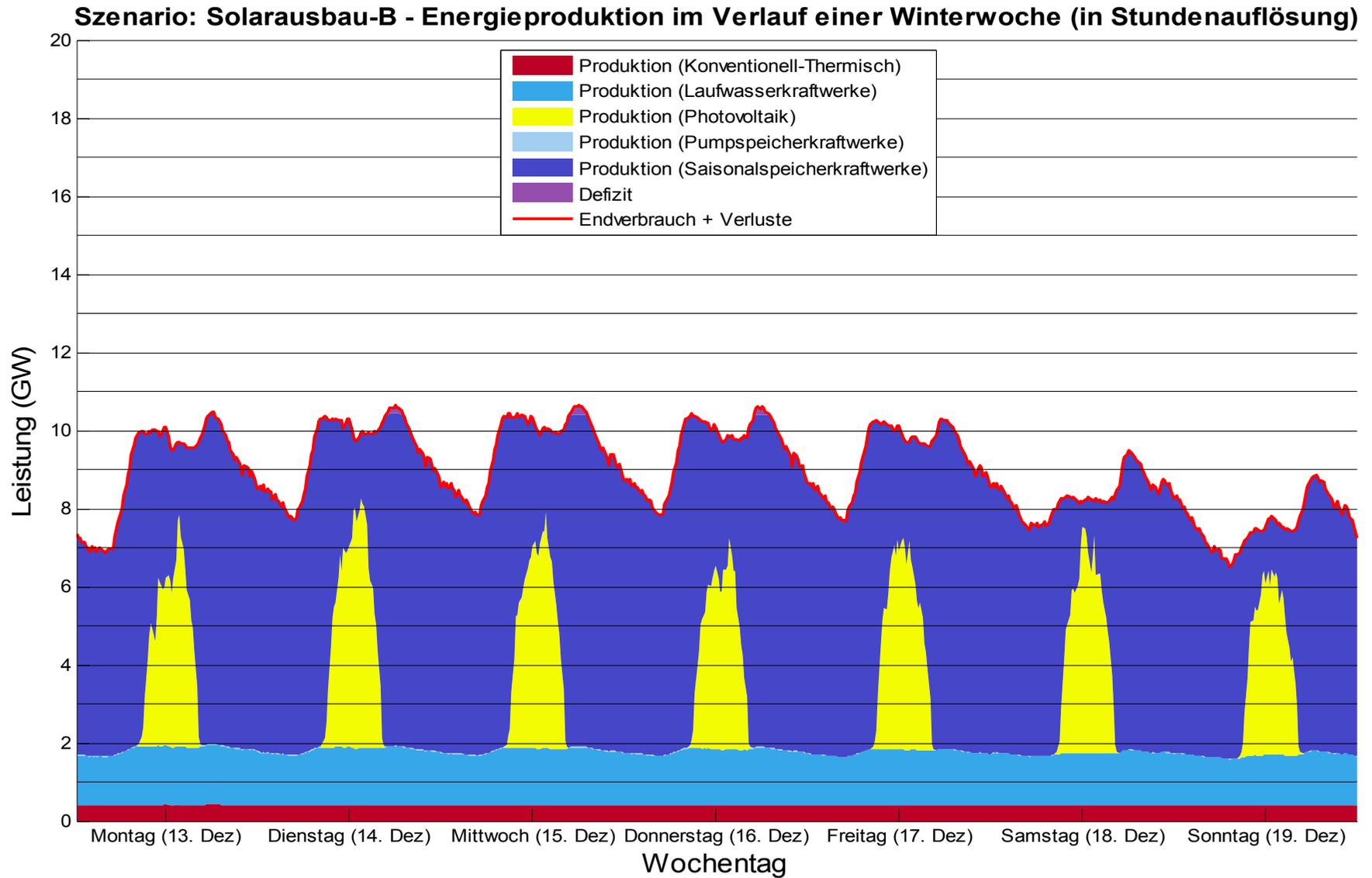
| <b>Szenario: Solarausbau-B -</b>  |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Parameter                         |           |
| Produktion Thermisch              | 3.70 TWh  |
| Leistung Nuklear                  | 0.00 GW   |
| Produktion Laufwasser             | 16.60 TWh |
| Leistung Biomasse                 | 0.00 GW   |
| Leistung Geoelektrisch            | 0.00 GW   |
| Leistung Solar Dach               | 9.00 GW   |
| Leistung Solar Berg               | 9.00 GW   |
| Leistung Wind                     | 0.00 GW   |
| Leistung Gas                      | 0.00 GW   |
| Kapazität Saisonalspeicher        | 10.00 TWh |
| Turbinenleistung Saisonalspeicher | 8.50 GW   |
| Kapazität Pumpspeicher            | 0.20 TWh  |
| Turbinenleistung Pumpspeicher     | 5.00 GW   |
| Pumpenleistung Pumpspeicher       | 5.00 GW   |
| Kapazität Batteriespeicher        | 0.00 GWh  |
| Eingangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Ausgangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Endverbrauch                      | 60.00 TWh |
| Verschiebbarer Lastanteil         | 0.00 %    |

# Verlauf einer Sommerwoche (nur Solarausbau)



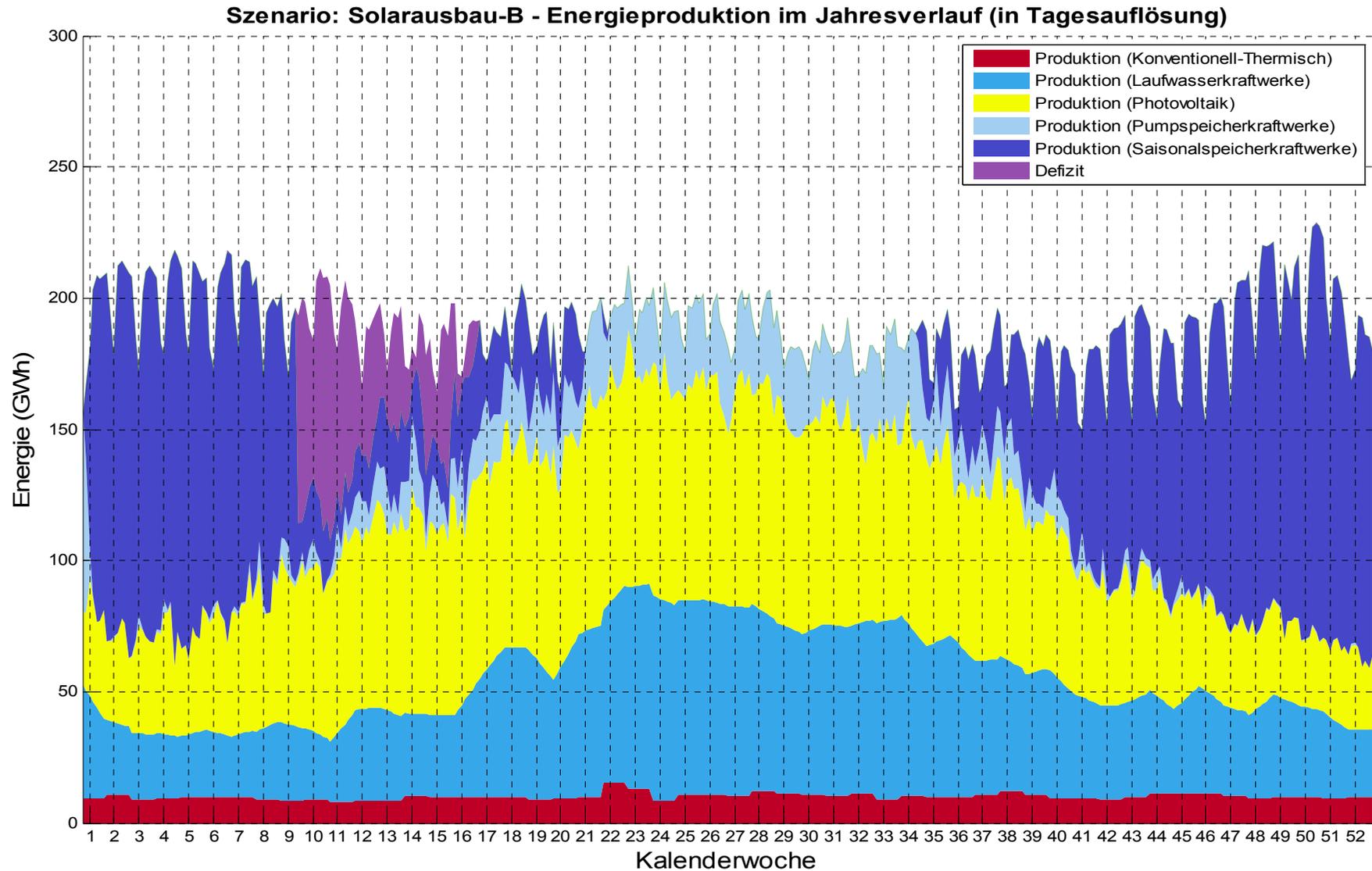
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Verlauf einer Winterwoche (nur Solarausbau)



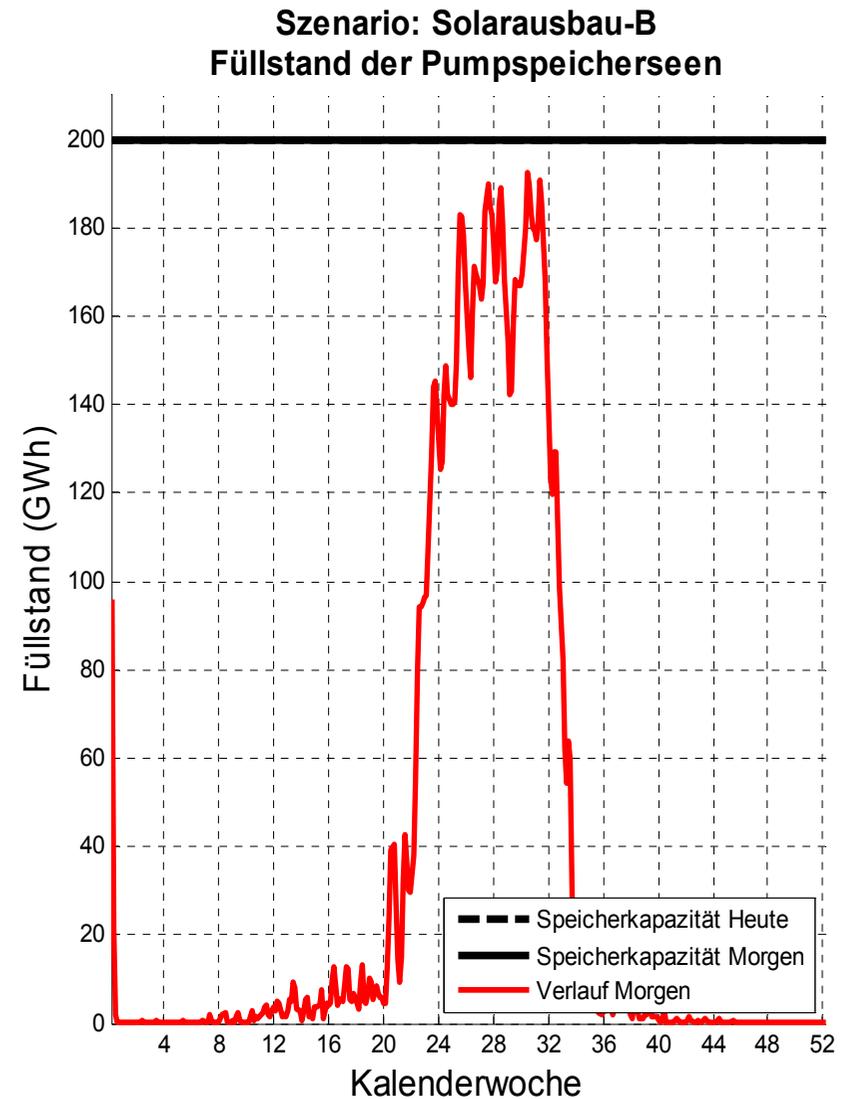
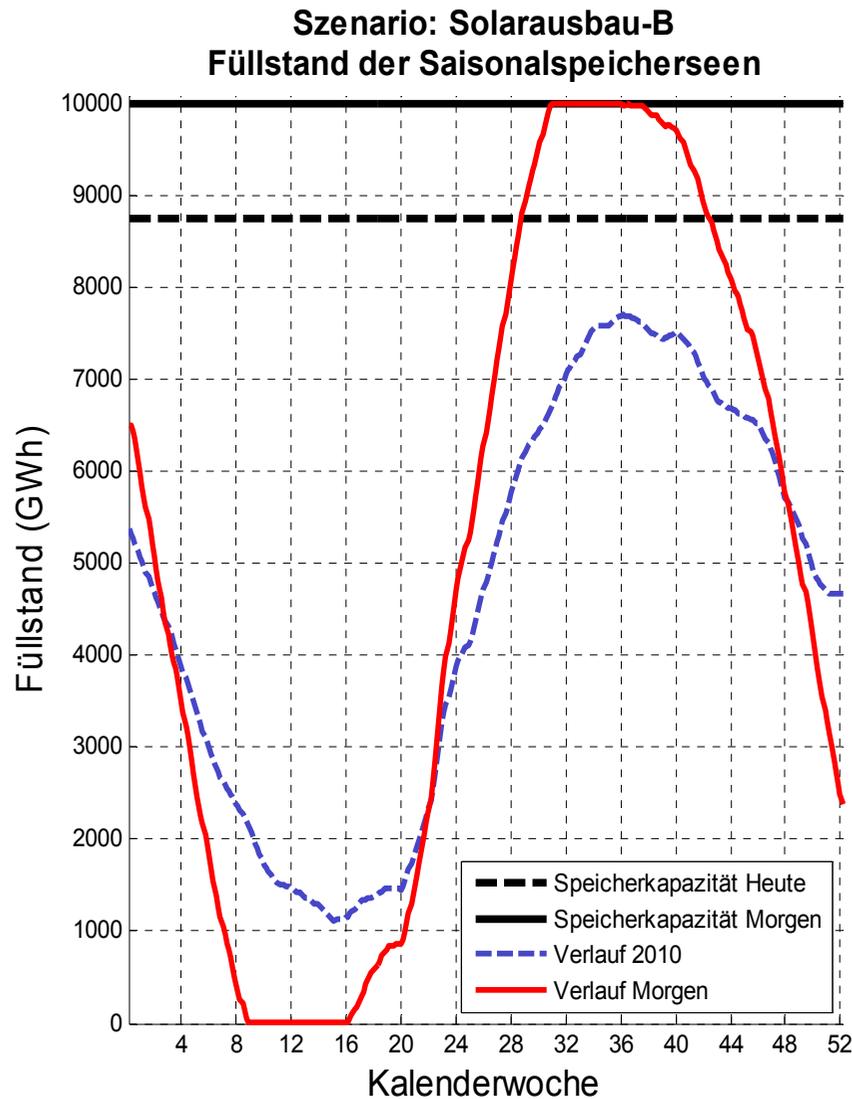
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Energieproduktion im Jahresverlauf (nur Solarausbau)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Füllstand der Speicherseen (nur Solarausbau)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Jahresbilanz (nur Solarausbau)

Szenario: Solarausbau-B - Energiebilanz

| Produktion       |                  |            |              |              | Konsum           |                  |            |              |              |
|------------------|------------------|------------|--------------|--------------|------------------|------------------|------------|--------------|--------------|
|                  | installiert (GW) | Jahr (TWh) | Sommer (TWh) | Winter (TWh) |                  | installiert (GW) | Jahr (TWh) | Sommer (TWh) | Winter (TWh) |
| Thermisch        | NaN              | 3.70       | 1.94         | 1.76         | Endverbraucher   | NaN              | 60.00      | 27.14        | 32.86        |
| Nuklear          | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Verlust          | NaN              | 2.89       | 1.31         | 1.57         |
| Laufwasserkraft  | 3.70             | 16.60      | 10.81        | 5.79         | Pumpspeicher     | 5.00             | 5.79       | 5.12         | 0.66         |
| Saisonalspeicher | 8.50             | 19.75      | 2.56         | 17.18        | Batteriespeicher | Inf              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |
| Pumpspeicher     | 5.00             | 4.83       | 4.14         | 0.69         | Waste            | NaN              | 0.41       | 0.41         | 0.00         |
| Geoelektrisch    | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Total            | NaN              | 69.08      | 33.99        | 35.10        |
| Biomasse         | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Solar Dach       | 9.00             | 8.92       | 6.12         | 2.80         |                  |                  |            |              |              |
| Solar Berg       | 9.00             | 12.95      | 7.81         | 5.14         |                  |                  |            |              |              |
| Wind             | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Gas              | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Batteriespeicher | Inf              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Defizit          | NaN              | 2.33       | 0.60         | 1.74         |                  |                  |            |              |              |
| Total            | NaN              | 69.08      | 33.99        | 35.10        |                  |                  |            |              |              |

| Details zu den Speicherseen |                        |                          |                        |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Überlauf Sp.seen (GWh)      | Sp.-Delta (2010) (GWh) | Sp.-Delta (Simul.) (GWh) | Netto Exportpot. (TWh) |
| 658.83                      | -722.00                | -4173.98                 | -5.85                  |

## 2.3 Simulierte Szenarien

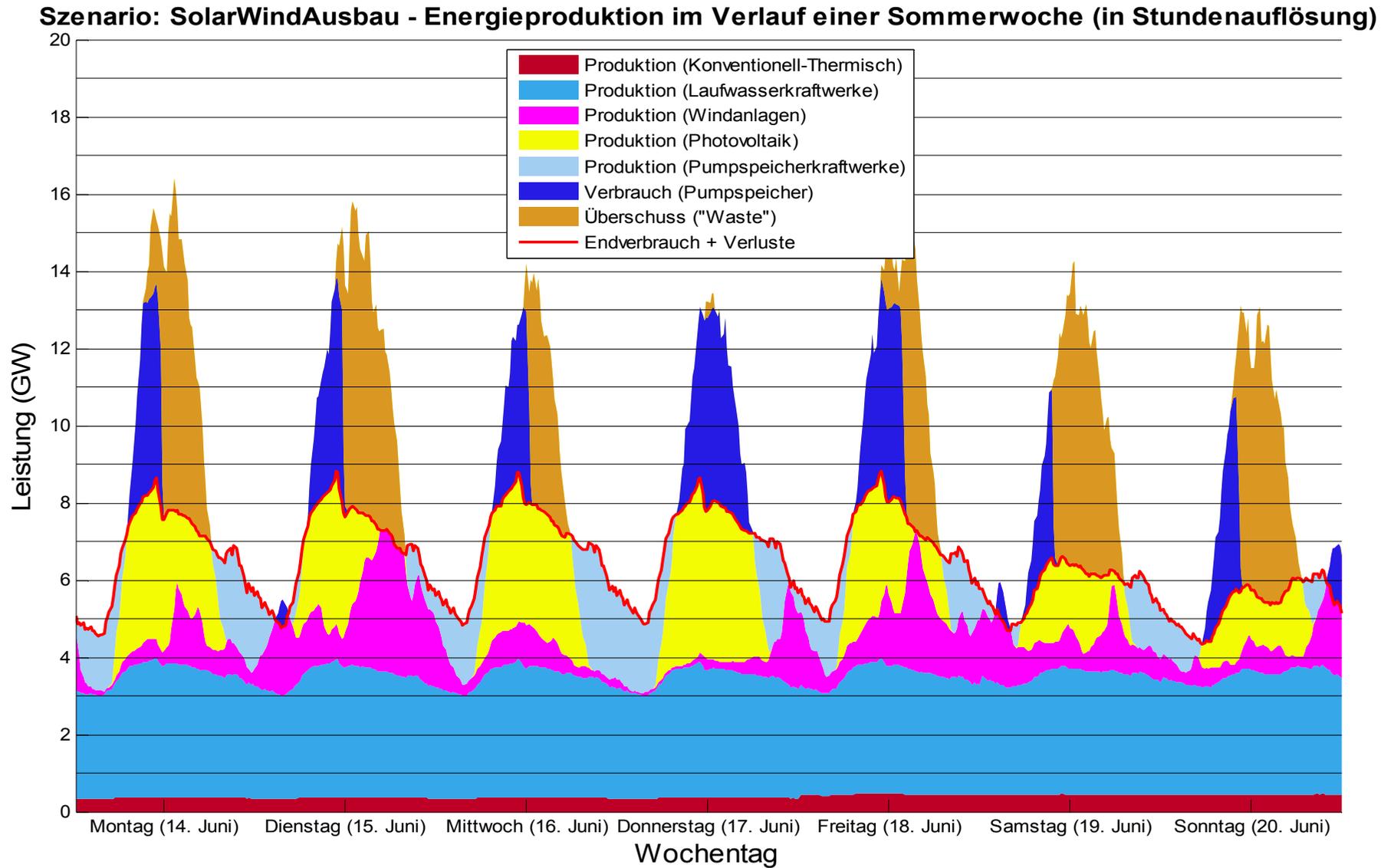
1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

## Parameter (Solar und Wind)

### Szenario: SolarWindAusbau -

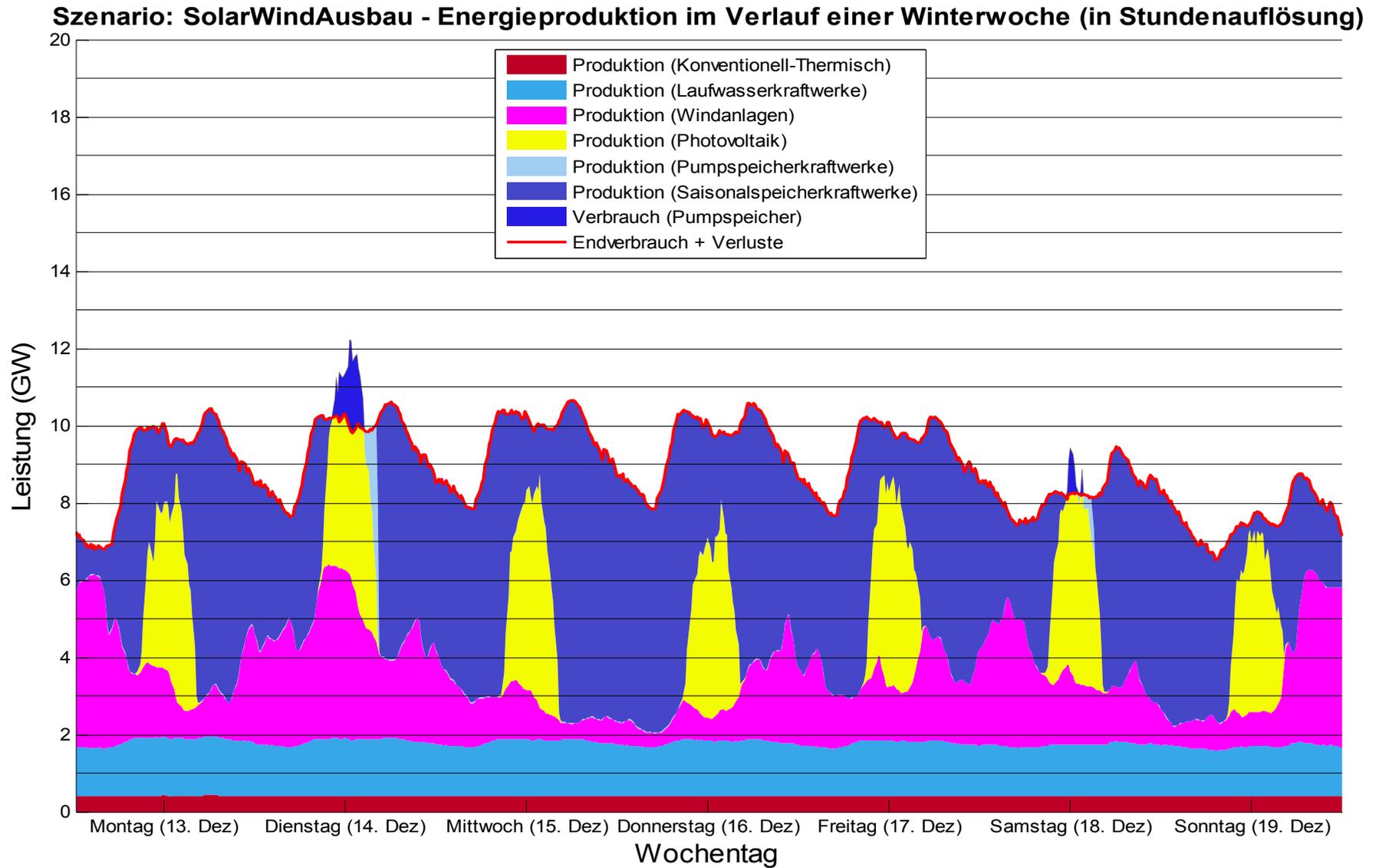
| Parameter                         |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Produktion Thermisch              | 3.70 TWh  |
| Leistung Nuklear                  | 0.00 GW   |
| Produktion Laufwasser             | 16.60 TWh |
| Leistung Biomasse                 | 0.00 GW   |
| Leistung Geoelektrisch            | 0.00 GW   |
| Leistung Solar Dach               | 9.00 GW   |
| Leistung Solar Berg               | 9.00 GW   |
| Leistung Wind                     | 4.50 GW   |
| Leistung Gas                      | 0.00 GW   |
| Kapazität Saisonalspeicher        | 10.00 TWh |
| Turbinenleistung Saisonalspeicher | 8.50 GW   |
| Kapazität Pumpspeicher            | 0.20 TWh  |
| Turbinenleistung Pumpspeicher     | 5.00 GW   |
| Pumpenleistung Pumpspeicher       | 5.00 GW   |
| Kapazität Batteriespeicher        | 0.00 GWh  |
| Eingangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Ausgangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Endverbrauch                      | 60.00 TWh |
| Verschiebbarer Lastanteil         | 0.00 %    |

# Verlauf einer Sommerwoche (Solar und Wind)



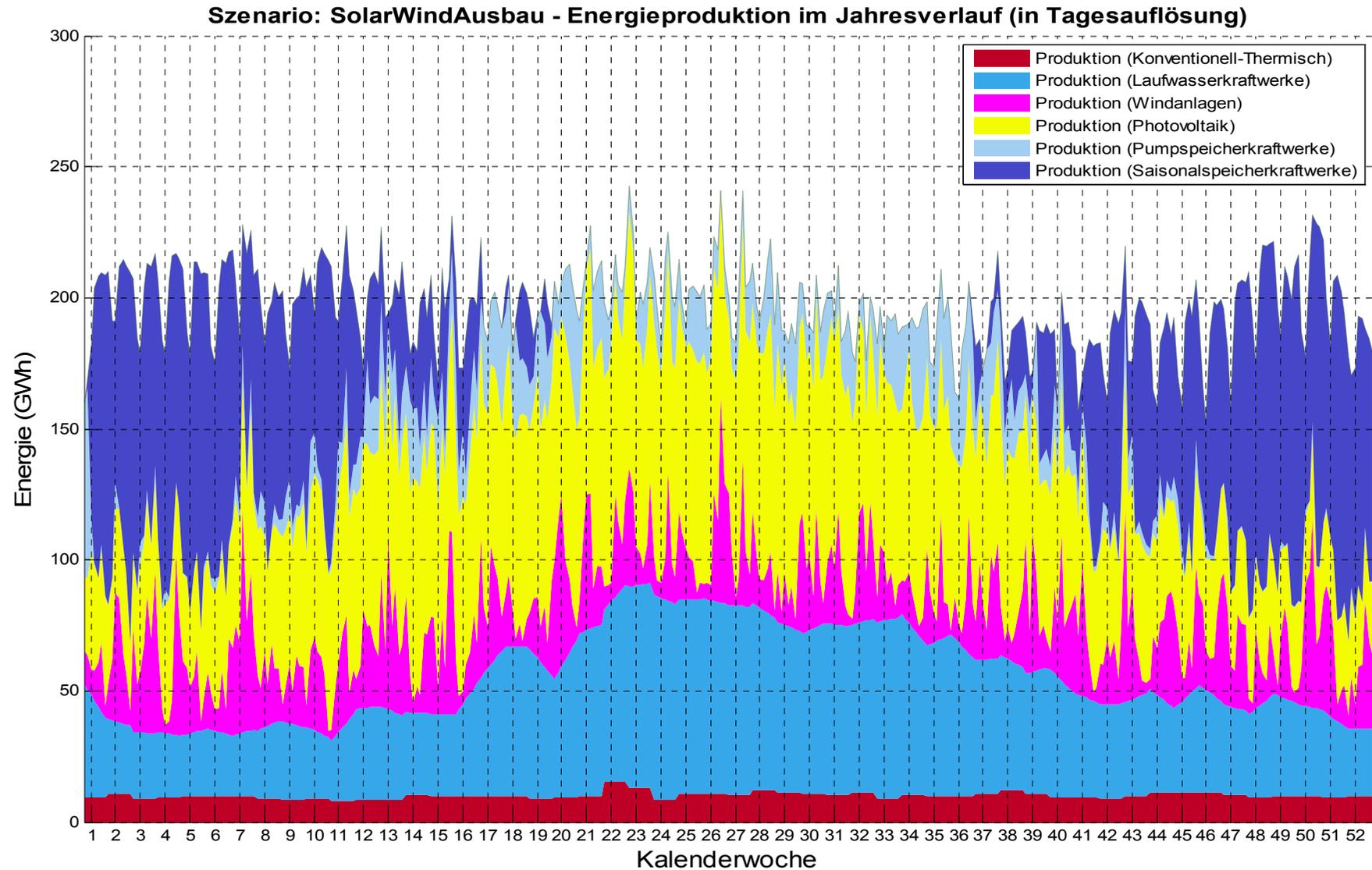
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Verlauf einer Winterwoche (Solar und Wind)



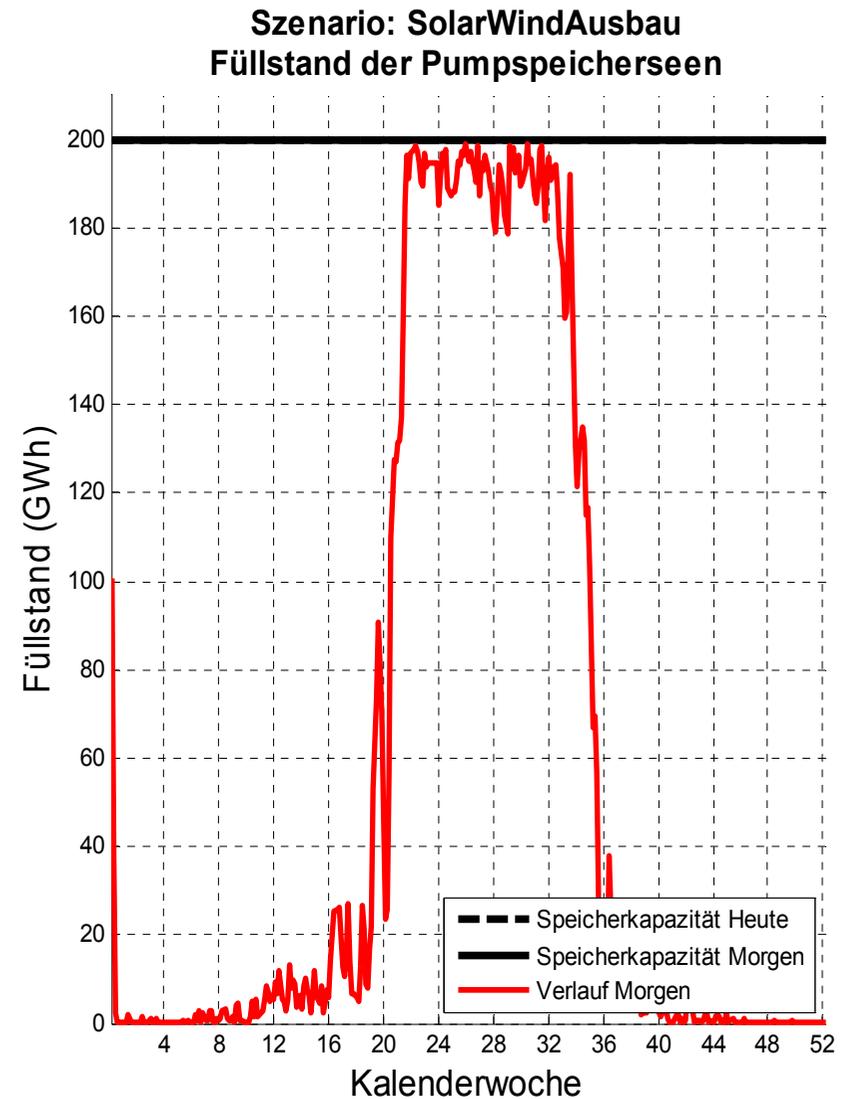
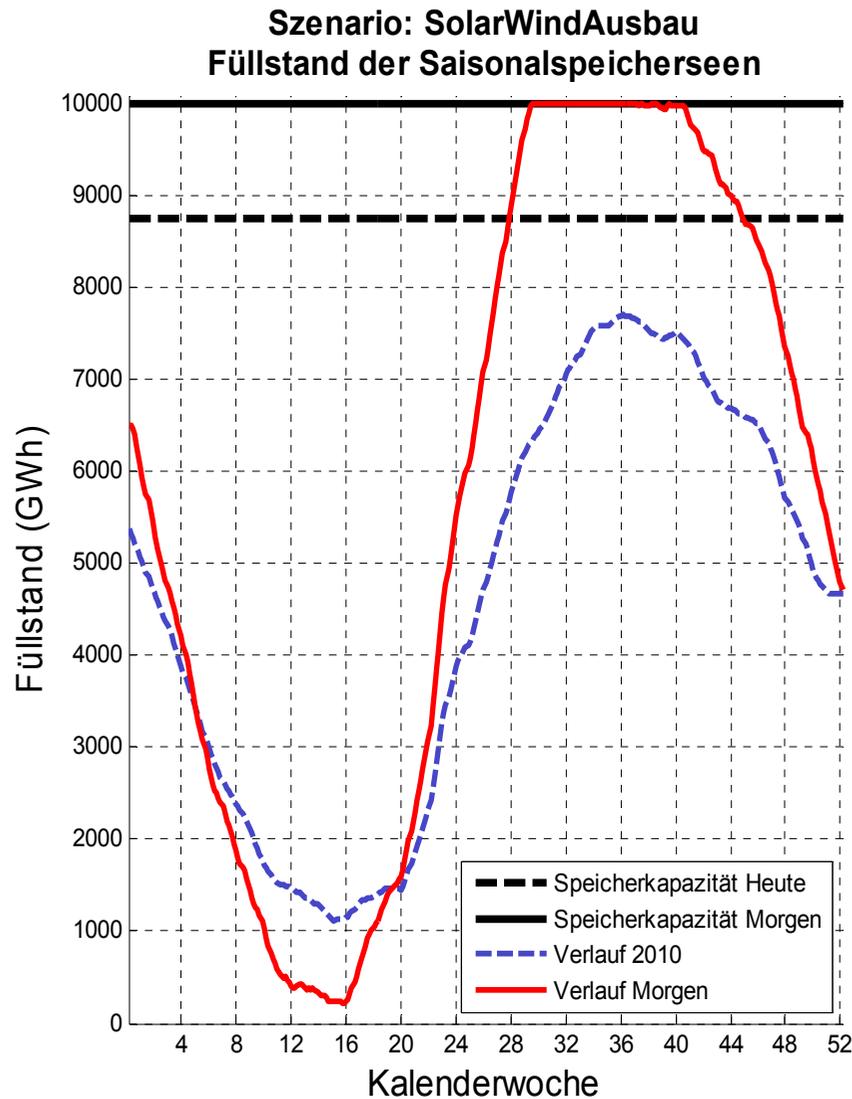
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Energieproduktion im Jahresverlauf (Solar und Wind)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Füllstand der Speicherseen (Solar und Wind)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Jahresbilanz (Solar und Wind)

Szenario: SolarWindAusbau - Energiebilanz

| Produktion       |                  |            |              |              | Konsum                             |                        |                          |                        |              |
|------------------|------------------|------------|--------------|--------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|
|                  | installiert (GW) | Jahr (TWh) | Sommer (TWh) | Winter (TWh) |                                    | installiert (GW)       | Jahr (TWh)               | Sommer (TWh)           | Winter (TWh) |
| Thermisch        | NaN              | 3.70       | 1.94         | 1.76         | Endverbraucher                     | NaN                    | 60.00                    | 27.14                  | 32.86        |
| Nuklear          | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Verlust                            | NaN                    | 2.95                     | 1.30                   | 1.65         |
| Laufwasserkraft  | 3.70             | 16.60      | 10.81        | 5.79         | Pumpspeicher                       | 5.00                   | 6.12                     | 4.81                   | 1.31         |
| Saisonalspeicher | 8.50             | 15.89      | 1.33         | 14.55        | Batteriespeicher                   | Inf                    | 0.00                     | 0.00                   | 0.00         |
| Pumpspeicher     | 5.00             | 5.03       | 3.86         | 1.18         | Waste                              | NaN                    | 2.79                     | 2.76                   | 0.03         |
| Geoelektrisch    | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Total                              | NaN                    | 71.85                    | 36.00                  | 35.85        |
| Biomasse         | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | <b>Details zu den Speicherseen</b> |                        |                          |                        |              |
| Solar Dach       | 9.00             | 8.92       | 6.12         | 2.80         | Überlauf Sp.seen (GWh)             | Sp.-Delta (2010) (GWh) | Sp.-Delta (Simul.) (GWh) | Netto Exportpot. (TWh) |              |
| Solar Berg       | 9.00             | 12.95      | 7.81         | 5.14         | 1036.51                            | -722.00                | -1821.73                 | -0.79                  |              |
| Wind             | 4.50             | 8.76       | 4.13         | 4.63         |                                    |                        |                          |                        |              |
| Gas              | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                                    |                        |                          |                        |              |
| Batteriespeicher | Inf              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                                    |                        |                          |                        |              |
| Defizit          | NaN              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                                    |                        |                          |                        |              |
| Total            | NaN              | 71.85      | 36.00        | 35.85        |                                    |                        |                          |                        |              |

## 2.4 Simulierte Szenarien

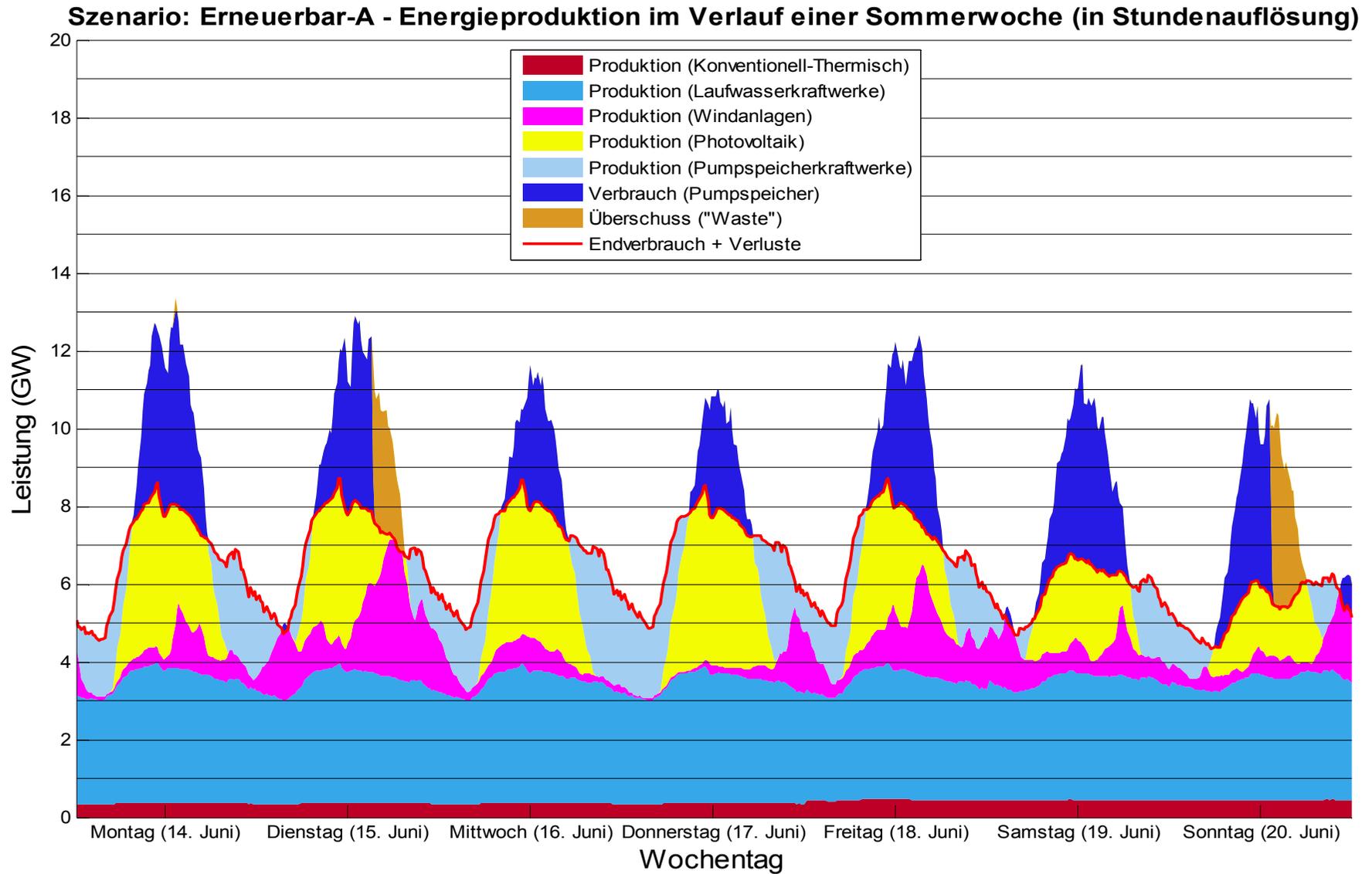
1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

# Parameter (Solar, Wind und Biomasse)

## Szenario: Erneuerbar-A -

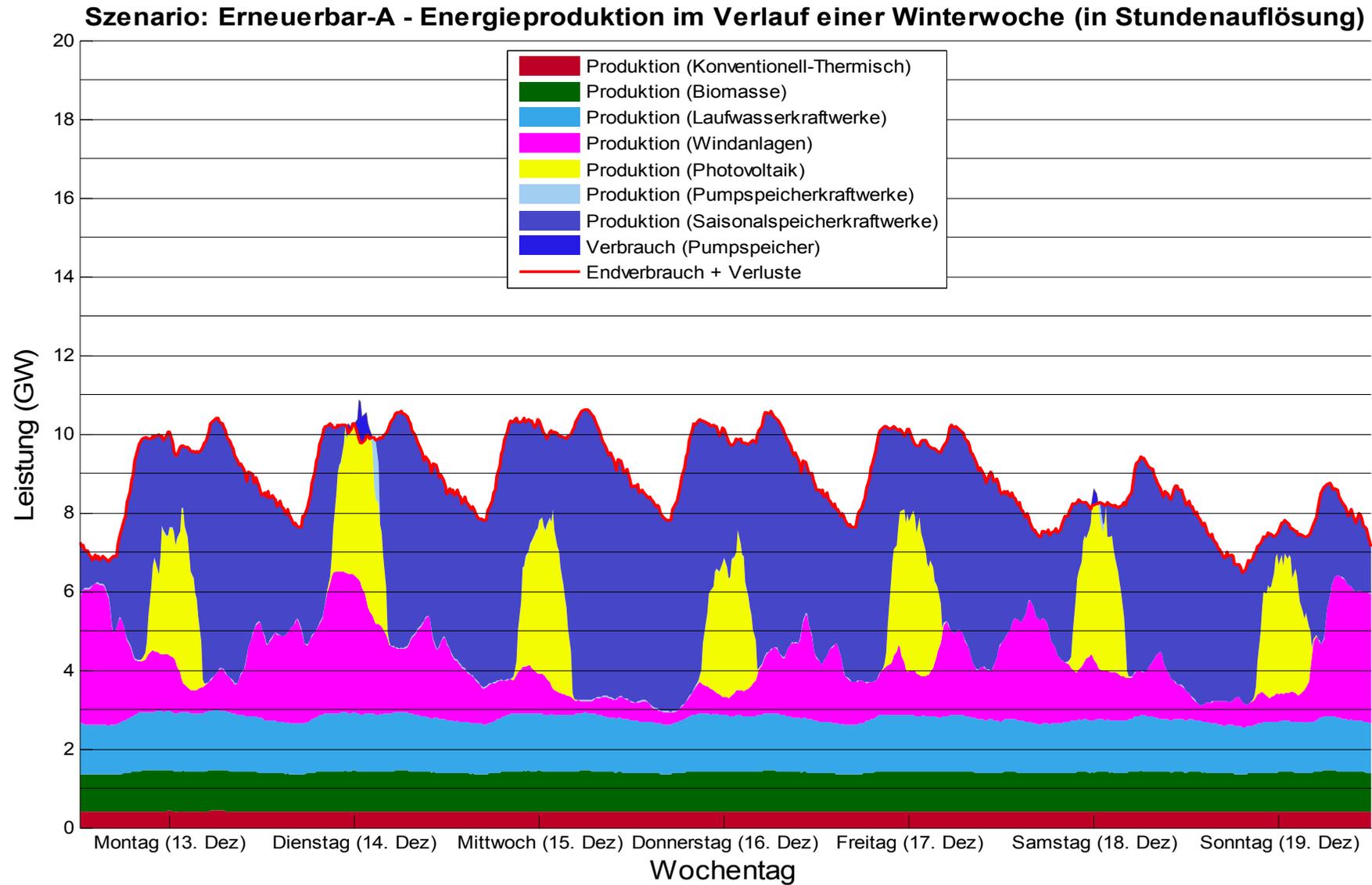
| Parameter                         |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Produktion Thermisch              | 3.70 TWh  |
| Leistung Nuklear                  | 0.00 GW   |
| Produktion Laufwasser             | 16.60 TWh |
| Leistung Biomasse                 | 1.00 GW   |
| Leistung Geoelektrisch            | 0.00 GW   |
| Leistung Solar Dach               | 6.75 GW   |
| Leistung Solar Berg               | 6.75 GW   |
| Leistung Wind                     | 3.60 GW   |
| Leistung Gas                      | 0.00 GW   |
| Kapazität Saisonalspeicher        | 10.00 TWh |
| Turbinenleistung Saisonalspeicher | 8.50 GW   |
| Kapazität Pumpspeicher            | 0.20 TWh  |
| Turbinenleistung Pumpspeicher     | 5.00 GW   |
| Pumpenleistung Pumpspeicher       | 5.00 GW   |
| Kapazität Batteriespeicher        | 0.00 GWh  |
| Eingangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Ausgangsleistung Batteriespeicher | Inf GW    |
| Endverbrauch                      | 60.00 TWh |
| Verschiebbarer Lastanteil         | 0.00 %    |

# Verlauf einer Sommerwoche (Solar, Wind und Biomasse)



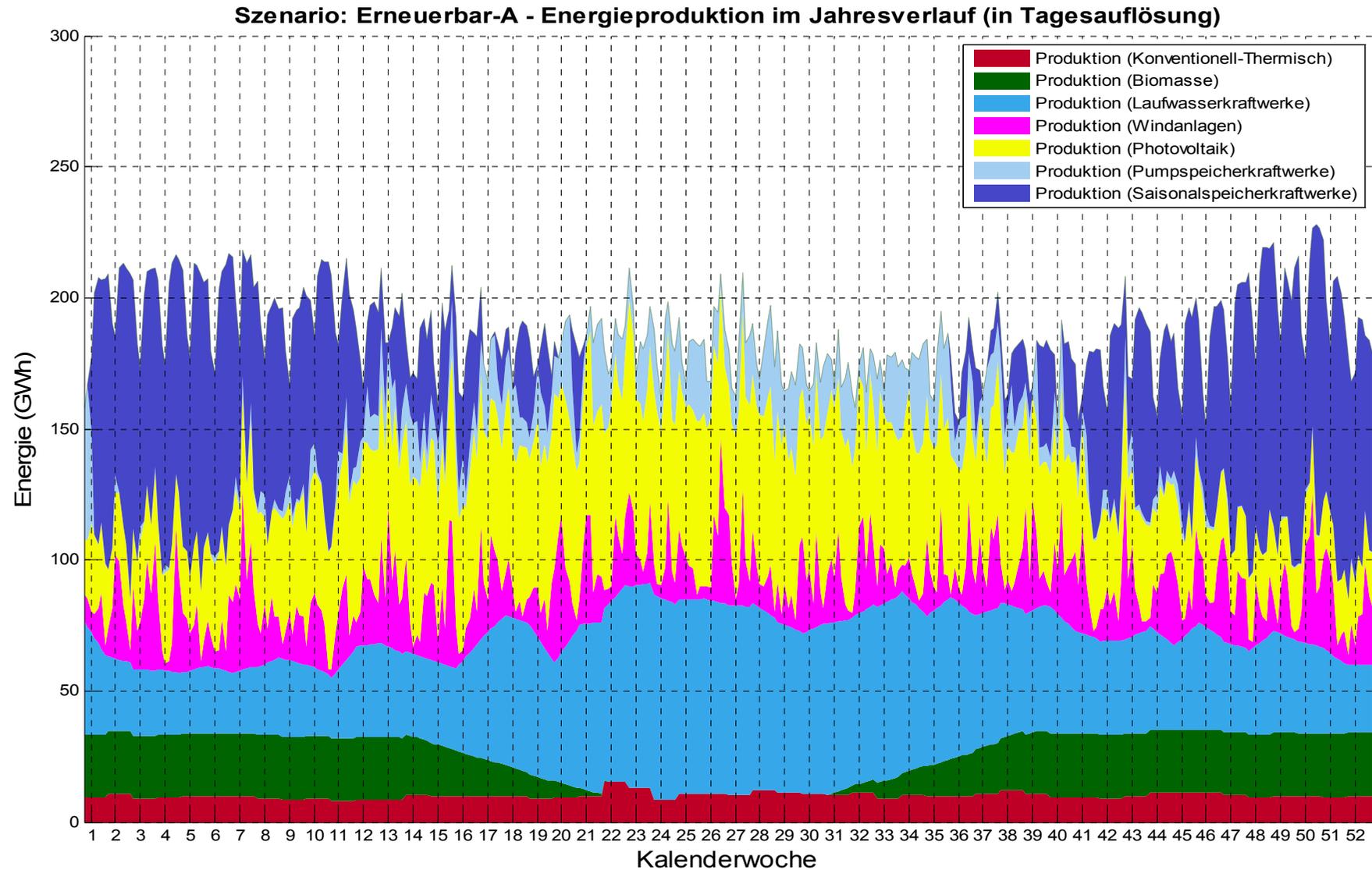
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Verlauf einer Winterwoche (Solar, Wind und Biomasse)



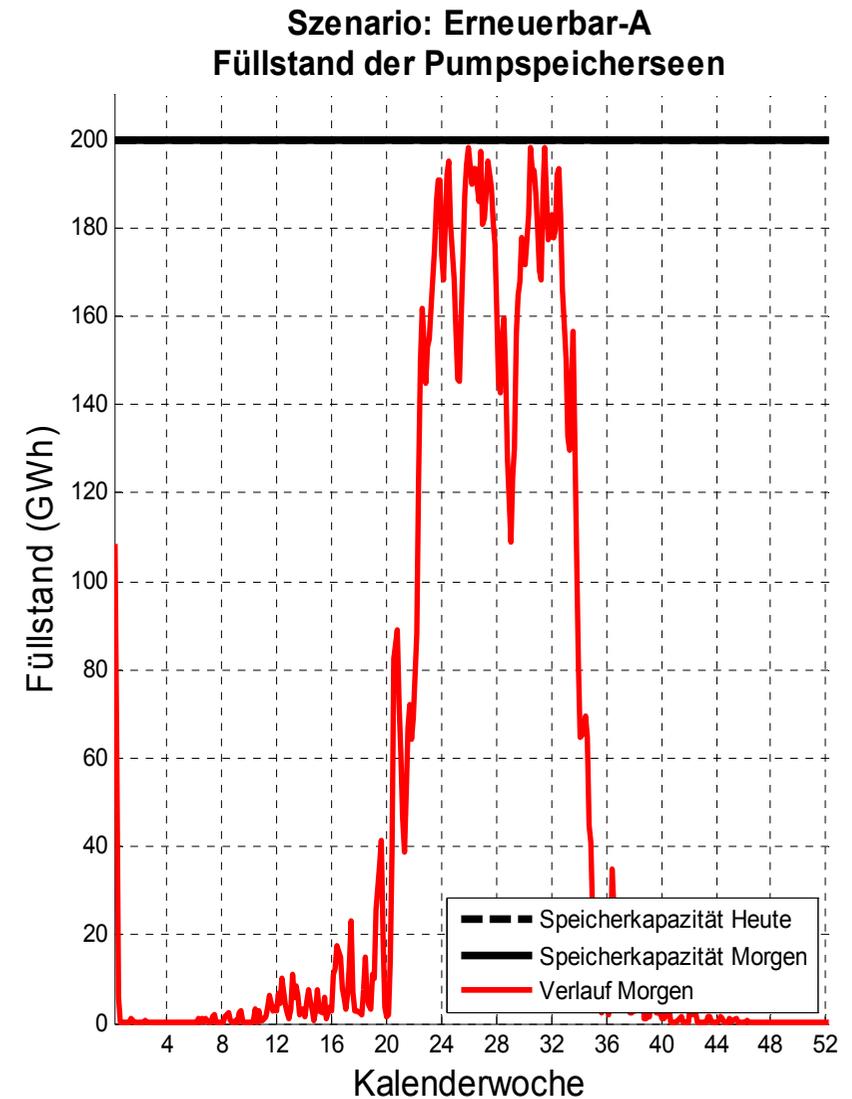
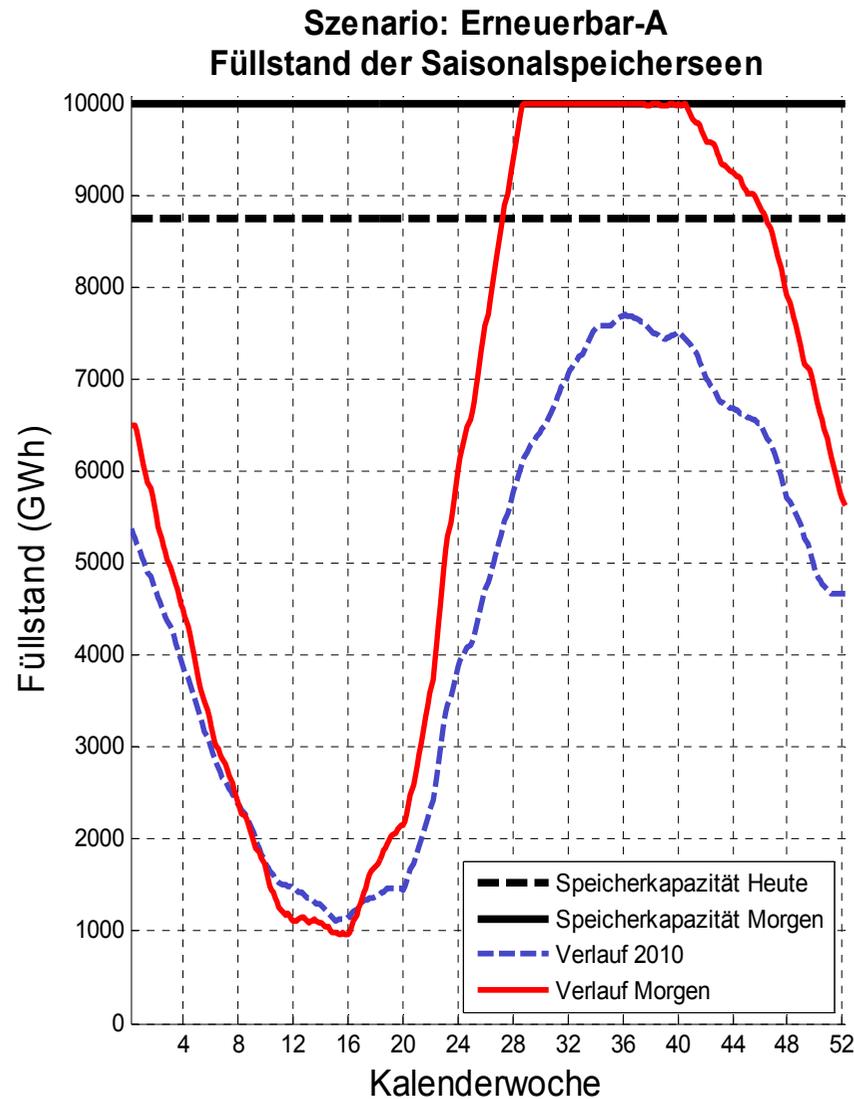
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Energieproduktion im Jahresverlauf (Solar, Wind und Biomasse)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Füllstand der Speicherseen (Solar, Wind und Biomasse)



git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

# Jahresbilanz (Solar, Wind und Biomasse)

Szenario: Erneuerbar-A - Energiebilanz

| Produktion       |                  |            |              |              | Konsum           |                  |            |              |              |
|------------------|------------------|------------|--------------|--------------|------------------|------------------|------------|--------------|--------------|
|                  | installiert (GW) | Jahr (TWh) | Sommer (TWh) | Winter (TWh) |                  | installiert (GW) | Jahr (TWh) | Sommer (TWh) | Winter (TWh) |
| Thermisch        | NaN              | 3.70       | 1.94         | 1.76         | Endverbraucher   | NaN              | 60.00      | 27.14        | 32.86        |
| Nuklear          | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Verlust          | NaN              | 2.80       | 1.26         | 1.54         |
| Laufwasserkraft  | 3.70             | 16.60      | 10.81        | 5.79         | Pumpspeicher     | 5.00             | 4.93       | 4.14         | 0.79         |
| Saisonalspeicher | 8.50             | 14.38      | 1.55         | 12.83        | Batteriespeicher | Inf              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |
| Pumpspeicher     | 5.00             | 4.18       | 3.40         | 0.79         | Waste            | NaN              | 0.40       | 0.40         | 0.00         |
| Geoelektrisch    | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         | Total            | NaN              | 68.13      | 32.94        | 35.19        |
| Biomasse         | 1.00             | 5.86       | 1.49         | 4.37         |                  |                  |            |              |              |
| Solar Dach       | 6.75             | 6.69       | 4.59         | 2.10         |                  |                  |            |              |              |
| Solar Berg       | 6.75             | 9.71       | 5.85         | 3.86         |                  |                  |            |              |              |
| Wind             | 3.60             | 7.01       | 3.30         | 3.71         |                  |                  |            |              |              |
| Gas              | 0.00             | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Batteriespeicher | Inf              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Defizit          | NaN              | 0.00       | 0.00         | 0.00         |                  |                  |            |              |              |
| Total            | NaN              | 68.13      | 32.94        | 35.19        |                  |                  |            |              |              |

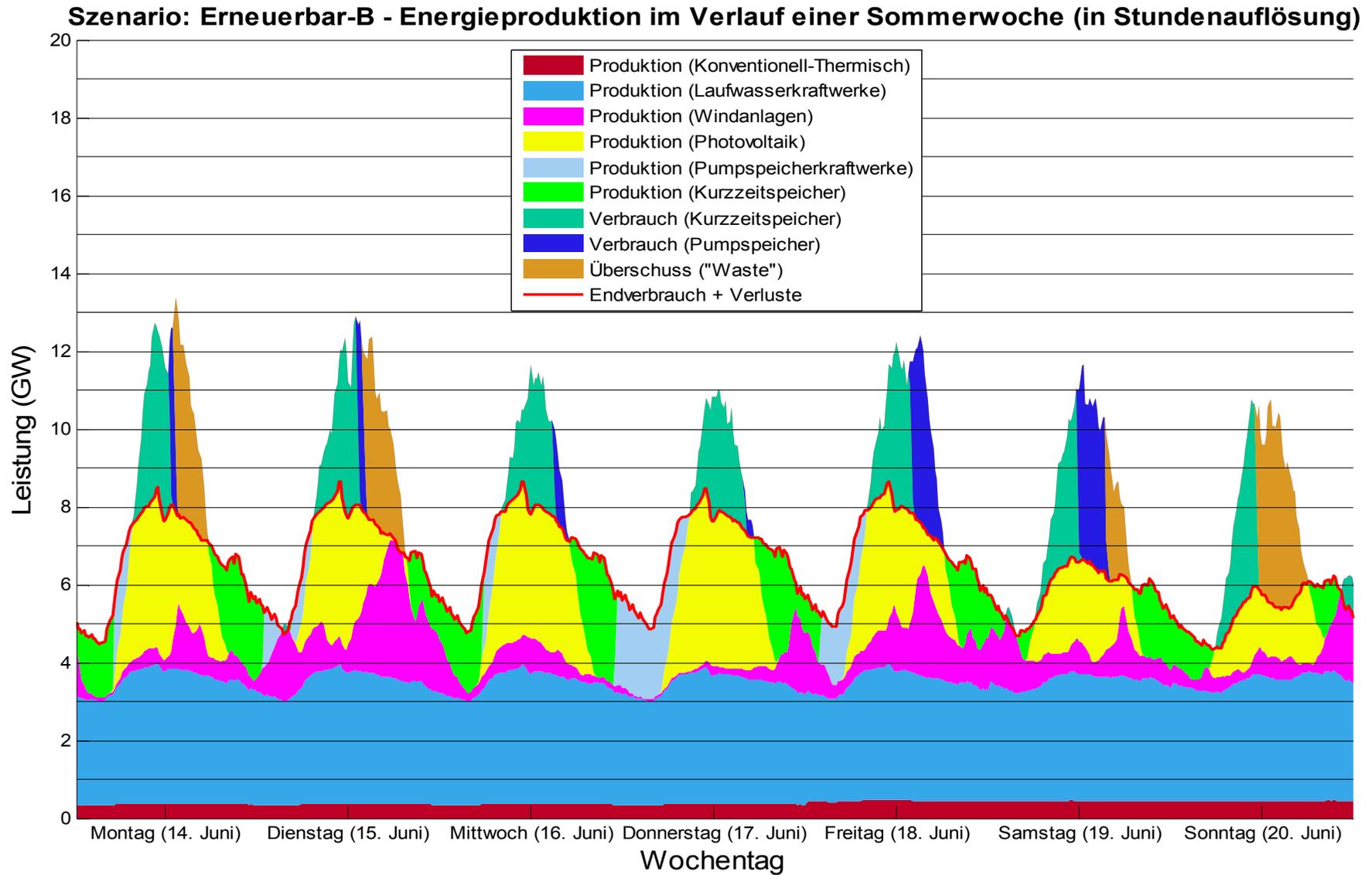
  

| Details zu den Speicherseen |                        |                          |                        |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Überlauf Sp.seen (GWh)      | Sp.-Delta (2010) (GWh) | Sp.-Delta (Simul.) (GWh) | Netto Exportpot. (TWh) |
| 1180.98                     | -722.00                | -898.99                  | 0.28                   |

## 2.5 Simulierte Szenarien

1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

# Verlauf einer Sommerwoche (Solar, Wind, Biomasse, mit Batterie)



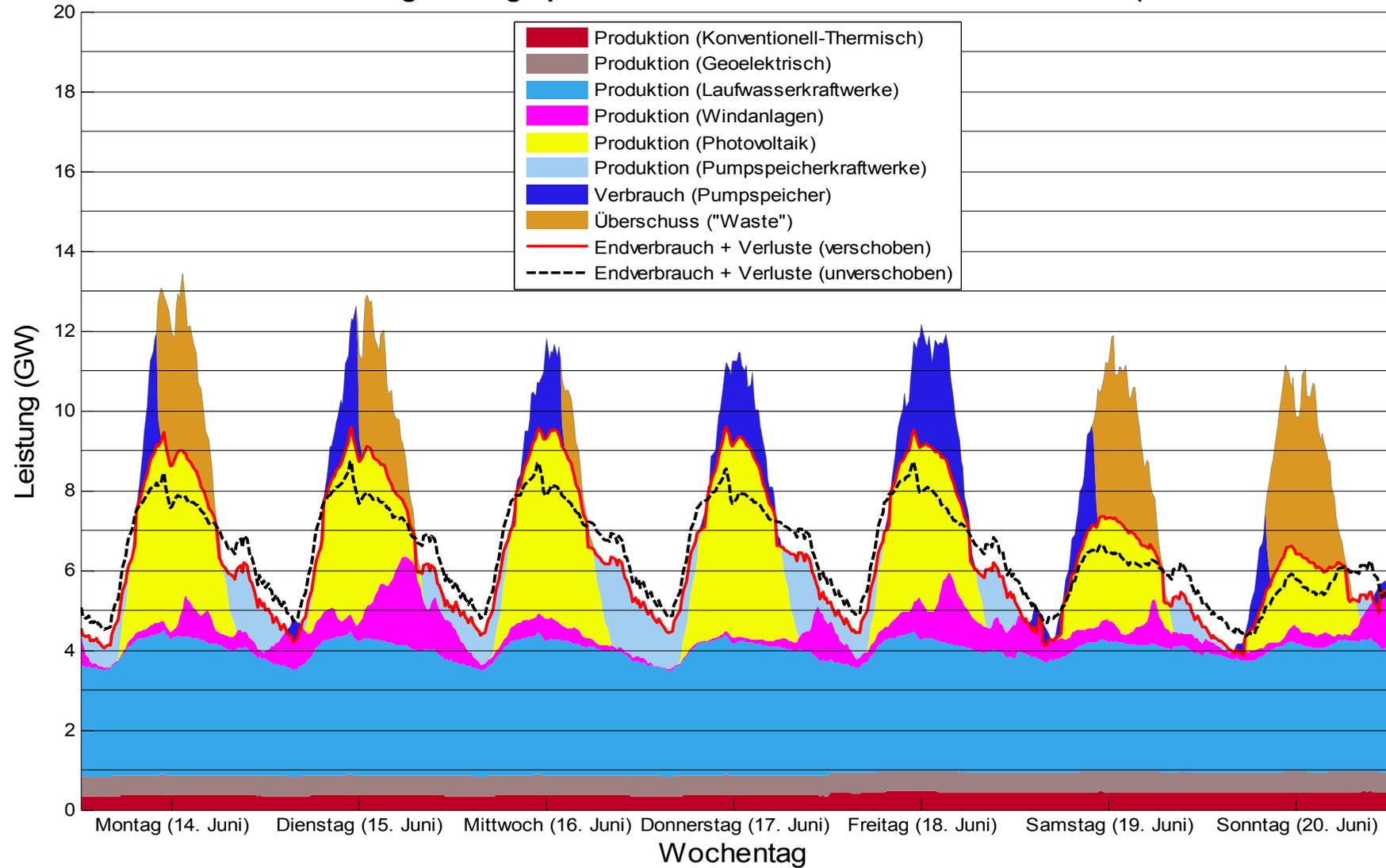
git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

## 2.6 Simulierte Szenarien

1. Weiter wie bisher (WWB)
2. Weiter wie bisher mit neuer Kernenergie
3. Bund NEP-E
4. Nur Solar
5. Solar und Wind
6. Solar, Wind und Biomasse
7. Solar, Wind, Biomasse und Batterie
8. Solar, Wind, Biomasse und Lastverschiebung

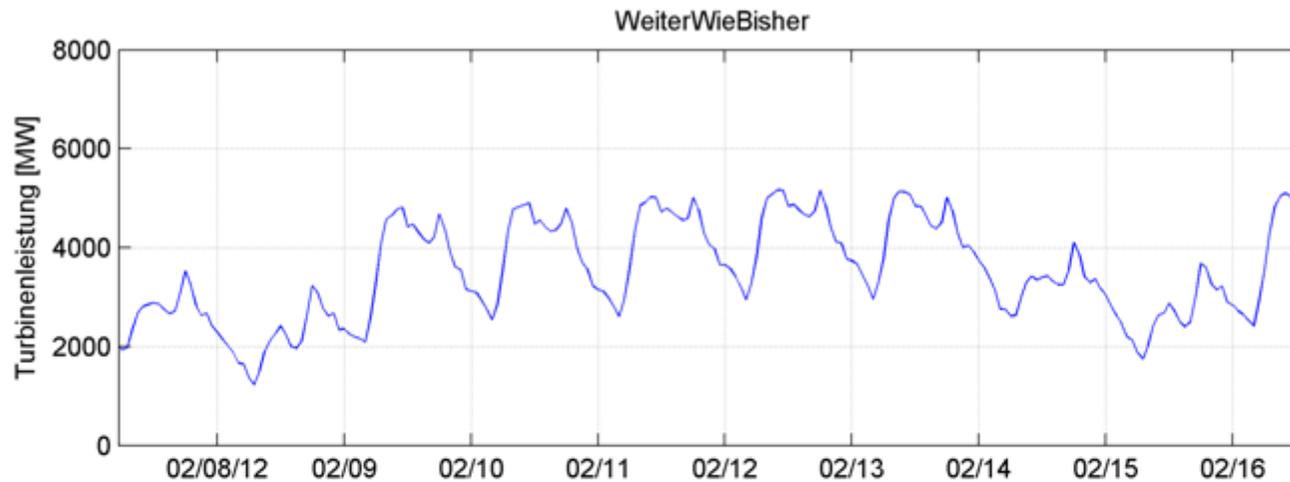
# Verlauf einer Sommerwoche (Solar, Wind, Biomasse, Lastverschiebung)

Szenario: Lastverschiebung - Energieproduktion im Verlauf einer Sommerwoche (in Stundenauflösung)

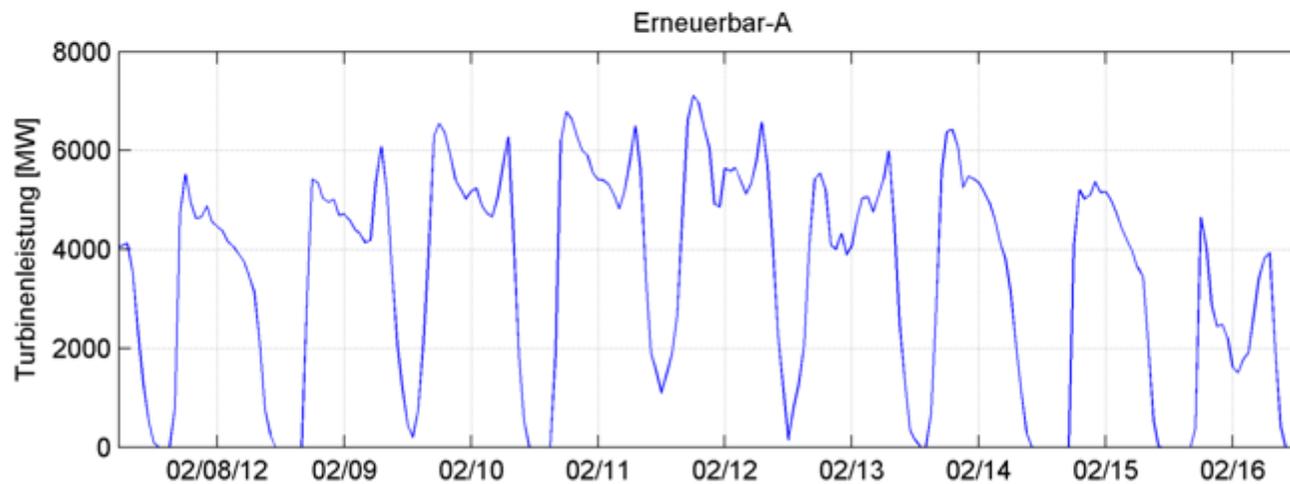


git: heads/master-0-gc8e6897 date 2013-05-03 13:35

## 2.7 Die veränderte Einsatzstrategie der Speicherseen: Hochdynamische Nutzung

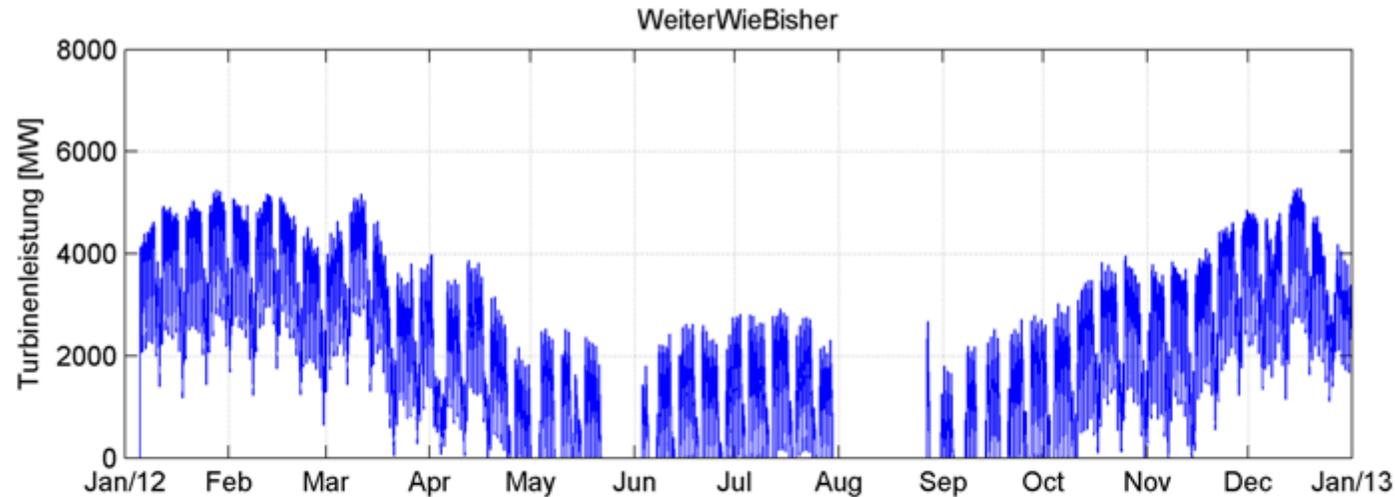


Leistungskurve  
Speicherseen  
WWB

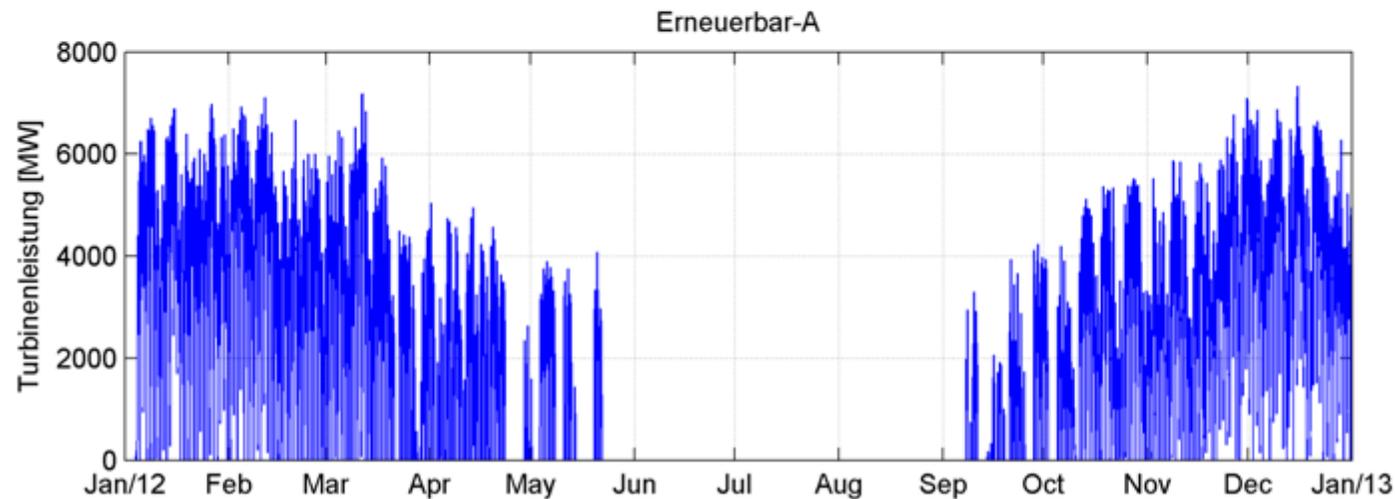


Leistungskurve  
Speicherseen  
Erneuerbar

# Die veränderte Einsatzstrategie der Speicherseen: Jahresvergleich

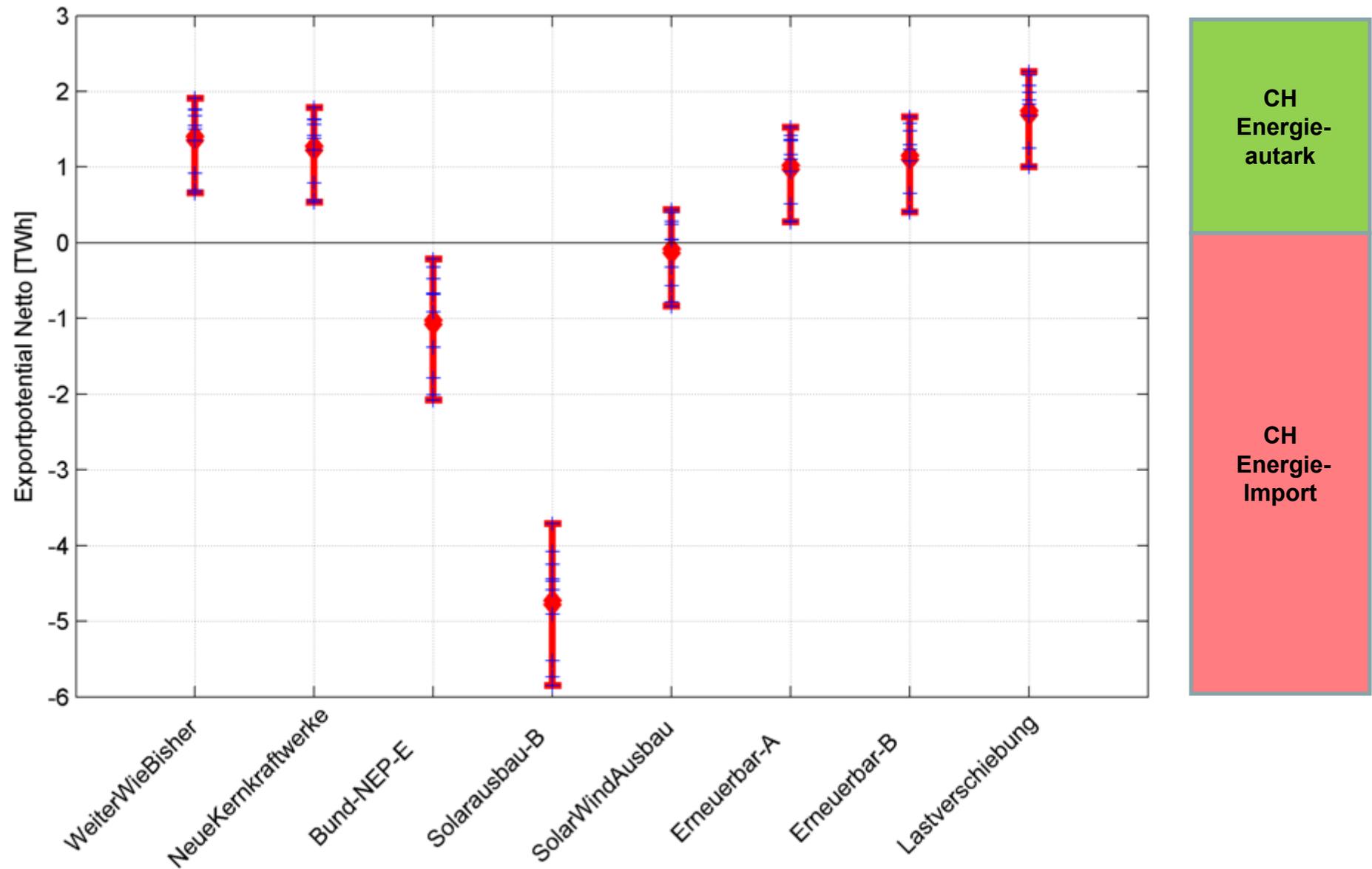


Leistungskurve  
Speicherseen  
WWB



Leistungskurve  
Speicherseen  
Erneuerbar

## 2.8 CH Energie-Autonomie Wasserjahre 2003 - 2012



## 3.1 Volkswirtschaftliche Kosten der Energieträger

|   | Kosten [Rp/ kWh] |
|---|------------------|
| <b>Flusskraftwerke</b> (heute 2..6 Rp/kWh)  | 4.0              |
| <b>Speicherkraftwerke</b> (heute 4.5 Rp/kWh)  | 5.5              |
| <b>Kernkraftwerke</b> (heute, ohne Risikoabgeltung)   | 5.6              |
| <b>Kernkraftwerke</b> (heute, inkl Risiko)<br>Kosten Supergau: CHF 5000 Mia, 0.2 ‰ / KKW & a, 5 KKW's<br>Produktion: ca. 28 TWh/Jahr            | 23.5             |
| <b>Kernkraftwerke</b> (neu, ohne Risikoabgeltung)<br>1.5 GW à 10 Mia CHF, Zins: 6%, Lebensdauer: 50 a, Unterhalt: 3%, 12 TWh/a                  | 7.9              |
| <b>Solar Mittelland</b><br>1.2 kCHF / kWp, Zins 3%, Lebensdauer: 25 a, Unterhalt: 1%, 1000 kWh/a pro kWp  | 8.1              |
| <b>Solar Berge</b><br>2.4 kCHF / kWp, Zins 3%, Lebensdauer: 25 a, Unterhalt: 1%, 1500 kWh/a pro kWp   | 10.8             |
| <b>Wind</b><br>1 MWp à 2 MCH, Zins: 4.5%, Lebensdauer: 40 Jahre, Unterhalt: 4%,<br>Produktion: ca. 2000 MWh / Jahr pro MWp                      | 9.7              |
| <b>KVA</b>  | 6.0              |
| <b>GuD</b><br>1 MWp à 1 MCH, Zins: 4.5%, Lebensdauer: 30 Jahre, Unterhalt: 1%,<br>Brennstoff: 5 Rp/ kWh, Betrieb: ca. 4000 Volllaststunden/Jahr | 6.8              |

## 3.2 Volkswirtschaftliche Kosten der Szenarien

|  | Kosten<br>[Mia CHF/a]  | Kosten<br>[Rp/ kWh]    |
|--|------------------------|------------------------|
| WWB (ohne Risiko)                          | 8.76                   | 14.6                   |
| WWB (mit Risiko 0.2 ‰) *)                  | 13.72                  | 22.8                   |
| WWB mit neuen KKW (ohne Risiko)            | 10.56                  | 17.6                   |
| Bund NEP-E                                 | 9.48                   | 15.8                   |
| Solarausbau-B (40 Standorte)               | (keine Autarkie!) 9.66 | (keine Autarkie!) 16.1 |
| Solar & Wind                               | 10.32                  | 17.2                   |
| Solar & Wind & Biomasse                    | 10.68                  | 17.8                   |
| Solar & Wind & Biomasse & Batterie         | 11.10                  | 18.5                   |
| Solar & Wind & Biomasse & Lastverschiebung | 10.44                  | 17.4                   |

\*) Kosten Supergau: CHF 5000 Mia, 0.2 ‰ / KKW & a, 5 KKW's

### WICHTIG:

Die Umwandlung der volkswirtschaftlichen Kosten in die Strompreise erfolgt durch die Politik.

## Zusammenfassung – Kernthesen

1. In den Schweizer Alpen kann mit Photovoltaik ebenso viel Energie gewonnen werden wie in der Sahara.
2. Die Schweiz kann sich zu 100% mit erneuerbarer Energie versorgen (Wasser, Sonne, Wind, Biomasse). Konsequenz: rund 40 km<sup>2</sup> PV in den Bergen und bis zu 2000 Wind-Anlagen.
3. Die Schweiz ist aufgrund der vorhandenen Speicherseen optimal auf die Energiewende vorbereite.
4. Der stufenweise Ausstieg aus der Kernenergie (hier nicht simuliert) ist auch ohne Gaskraftwerke (GuD) möglich.
5. Die volkswirtschaftlichen Kosten der verschiedenen Energieszenarien liegen in vergleichbarem Rahmen.
6. Durch dezentrale Stromversorgung mit dezentralen Batterien und Smart Grid kann auf den Ausbau des heutigen Netzes weitgehend verzichtet werden.

**Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**