

10. März 2011

# Ein Blick auf die öffentliche Debatte über Energiespeicher und das Potential von Pumpspeicherung in Deutschland

---

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas **Schlenkhoff**  
Dipl.-Ing. Georg **Heinz**  
Wasserwirtschaft und Wasserbau  
Fachbereich D - Bauingenieurwesen  
Bergische Universität Wuppertal

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

# Gibt es Standorte für Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland?

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

# Warum gibt es keine Lobby für Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland?

---

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas **Schlenkhoff**  
Dipl.-Ing. Georg **Heinz**  
Wasserwirtschaft und Wasserbau  
Fachbereich D - Bauingenieurwesen  
Bergische Universität Wuppertal

## Einleitung

## Grundlagen

## Standortfindung

## Ausblick

## Motivation:

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

Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke gilt als Brückentechnologie.

- 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“**

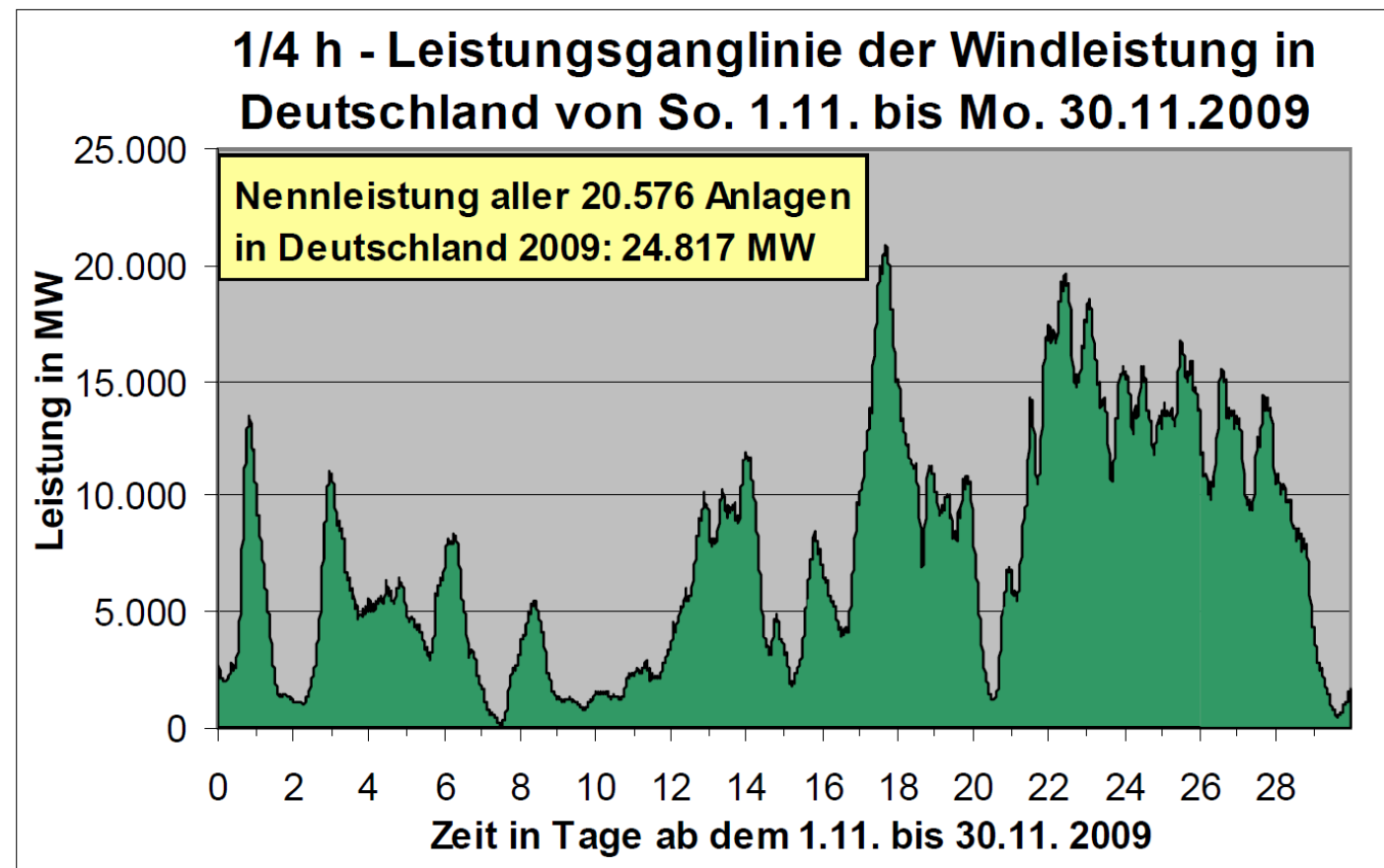
## Einleitung

## Grundlagen

## Standortfindung

## Ausblick

## Energieerzeugung aus Windkraft



## Einleitung

## Grundlagen

## Standortfindung

## Ausblick

## Motivation

### Szenarien der Stromerzeugung 2050:

weiterer Ausbau der Windkraft (etwa 50 bis 80 GW, offshore)

weiterer Ausbau der Photovoltaik (50 bis 100 GW)

Grundlast aus

Biomasse, Wasserkraft und  
20 bis 30 GW aus Geothermie und

wasserstoffbasierten Stromerzeugung

smart grid:

Lastmanagement

Super Grid:

Norwegen, Mittelmeer, Europa-Afrika (EUNA)

Speicher:

**Batterie**, Druckluft, **Wasserstoff** und  
Pumpspeicher in Norwegen

## Einleitung

## Grundlagen

## Standortfindung

## Ausblick

## Motivation

### SRU 2011 möchte:

wegen der finanziellen Folgen den weiteren Ausbaus der Photovoltaik auf 40 GW beschränken,

dafür aber den Ausbau der Windkraft stark erhöhen (80 GW)

und die Geothermie gegenüber den DLR Szenarien zurückstellen

Als Speicher werden alternativ genannt:

Druckluftspeicher in Deutschland oder

**große Pumpspeichieranlagen in Norwegen**

mit HGÜ auf 800 kV ca. 1000km

in der Größenordnung von 40 GW

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Darstellung der Energiespeicher in den Medien ?

- 1) Batterietechnologie / E- Mobilität
- 2) Lastmanagement mit „smart grid“
- 3) Dessertec
  
- ...) Pumpspeicher

## Einleitung

## Grundlagen

## Standortfindung

## Ausblick

## Darstellung der Energiespeicher in den Medien ?

## ... ) Pumpspeicher

Goldisthal // Vattenfall

???

Atdorf // Schluchseewerke

!!!

Forbach // EnBW

???

Passau

???

Ulm / Stadtwerke

???

Ruhrgebiet Halden (RAG und RWE)

!!!

## Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Darstellung der Energiespeicher in den Medien ?

... ) Pumpspeicher

Greenpeace -&gt; Wasserkraft

!!!

BUND

? / !!

DAV / OeAV

? / !

Parteien / Politik

? / !

wwf

???

Bürgerinitiativen

???

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Darstellung der Energiespeicher in den Medien ?

### 1) Batterietechnologie / E- Mobilität

RWTHAACHEN



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 Antriebe (ISEA)  
Univ.-Prof. Dr. ir. Rik W. De Doncker

RWTH Aachen University

RWTHAACHEN



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 Antriebe (ISEA)  
Univ.-Prof. Dr. ir. Rik W. De Doncker

RWTH Aachen University

Einleitung

Grundlagen

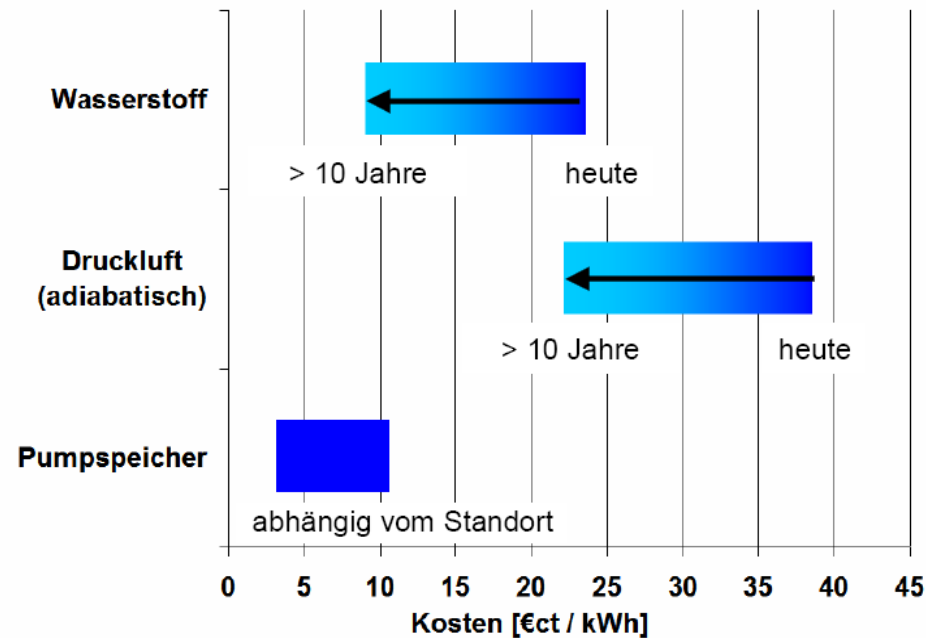
Standortfindung

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 Antriebe (ISEA)  
Uwe-Prof. Dr.-Ing. Rik W. Die Doncker  
RWTH Aachen University

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

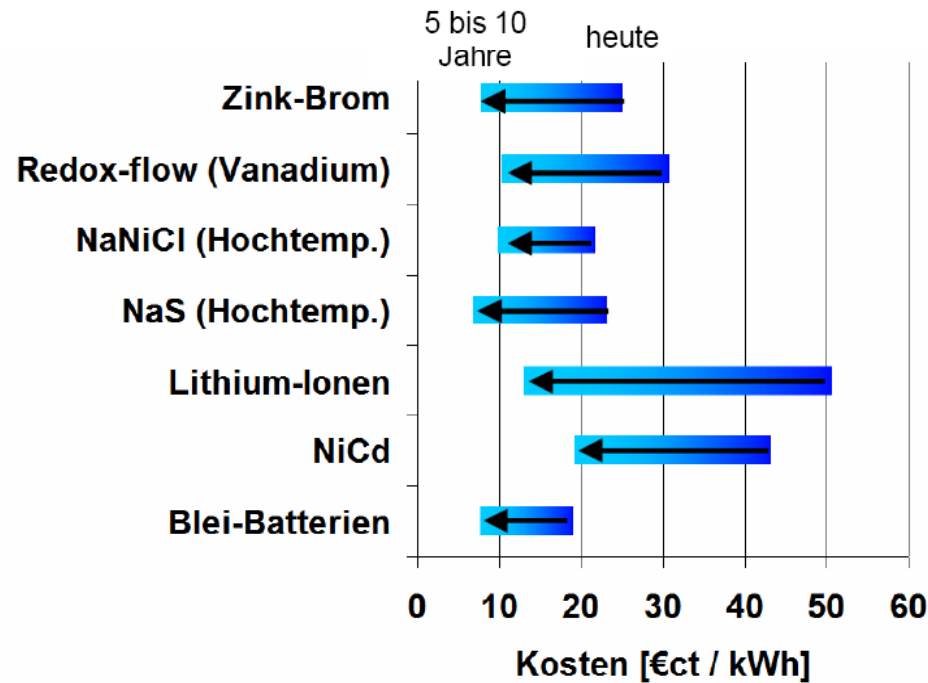
Ausblick

RWTHAACHEN



### Load-leveling Hochspannungsnetz ("Pumpspeicher")

1 GW, 8 GWh, 1 Zyklus / Tag, Stromkosten 4 €ct, Kapitalkosten 8%



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. 10

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)  
Uwe-Profr. Dr.-Ing. Rik W. Die Doncker

RWTH Aachen University

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

RWTHAACHEN



## Pumpspeicherkraftwerke

- erprobte Technologie
- über 90 GW installierte Leistung weltweit



|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| Wirkungsgrad          | 65-80 %                       |
| Entladedauer          | Stunden bis Tage              |
| Leistung              | 10 MW bis 1 GW                |
| Kosten Speichermedium | 10 - 40 €/kWh                 |
| größter Nachteil      | kaum neue Standorte in Europa |

Bild: <http://www.goldisthal.de>
 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 SpeichersystemtechnikInstitut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebstechnik (ISEA)  
Uwe-Prof. Dr.-Ing. Rik W. Die Doncker

RWTH Aachen University

13.10.2008

Dirk Uwe Sauer

Speichertechnologien der Zukunft

Nr. 20

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## PSKW – Standortsuche



PSKW  
Rönkhausen

Ausbauleistung: 140 MW

Energieinhalt OB: 690 MWh

Speicherinhalt: 950.000 m<sup>3</sup>

Fallhöhe: 254 – 277 m

Durchfluss: 44 m<sup>3</sup>/s

**Hoher Eingriff  
in Natur  
und Ökologie**

Eingriff ??? ja

Hoher Eingriff ??? Relativ !!!

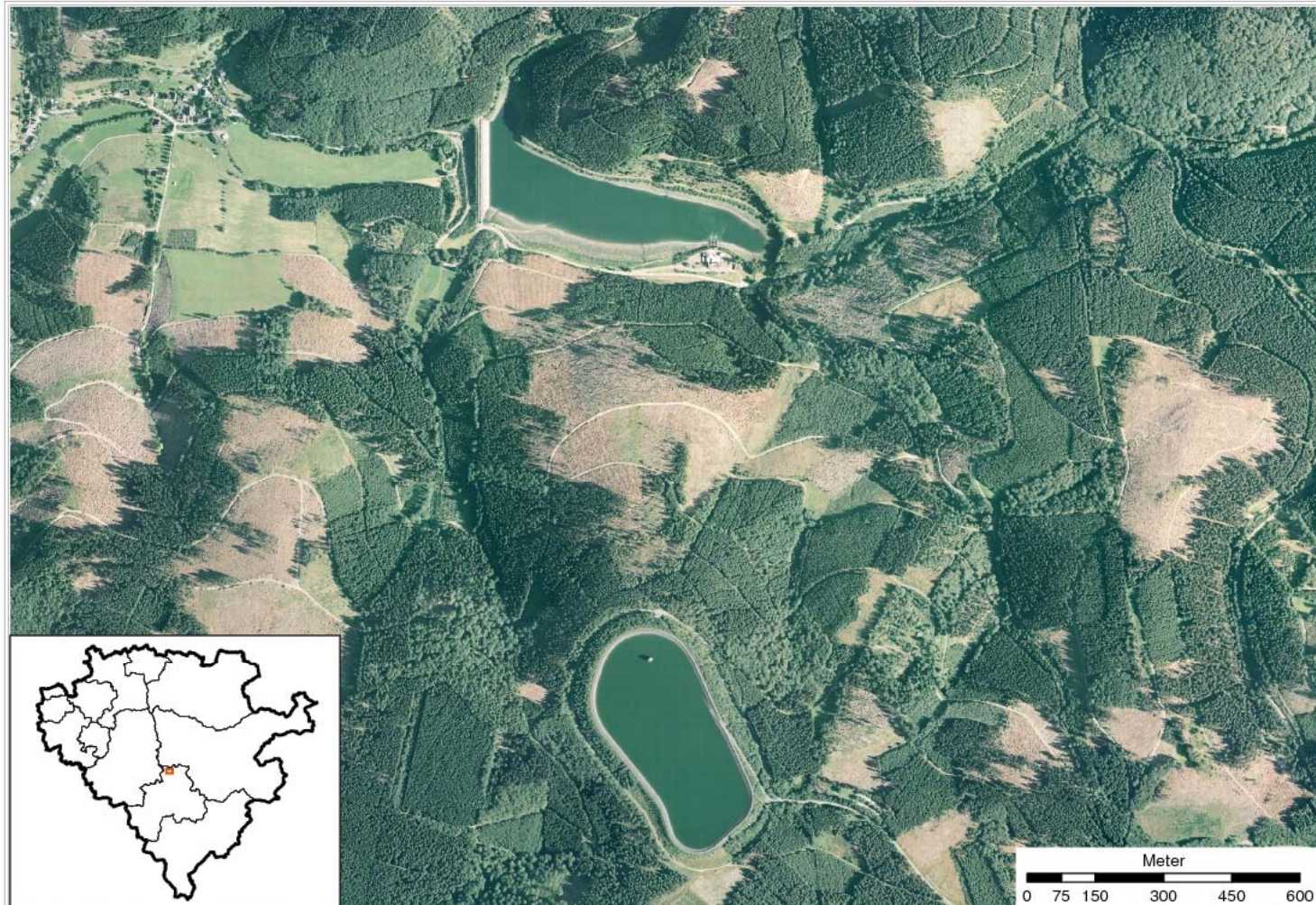
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## PSKW – Rönkhausen



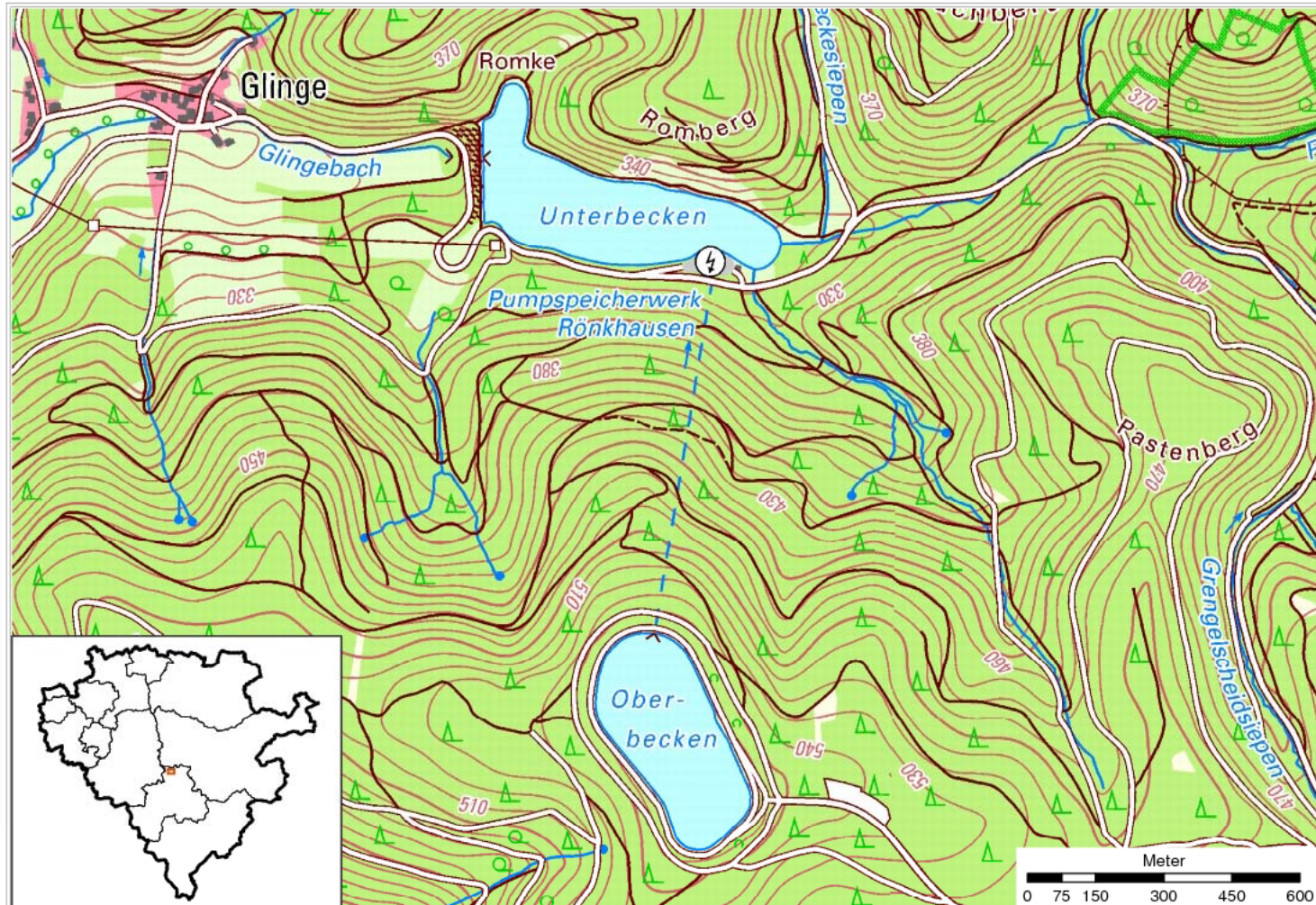
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## PSKW – Rönkhausen



Einleitung

## PSKW – Funktion

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

PSKW  
Herdecke

Ausbauleistung: 153 MW  
Energieinhalt OB: 590 MWh  
Speicherinhalt: 1.600.000 m<sup>3</sup>  
Fallhöhe: 145 – 165 m  
Durchfluss: 110 m<sup>3</sup>/s (T)  
101 m<sup>3</sup>/s (P)

Quelle: RWE Power,  
Pumpspeicherkraftwerk Herdecke,  
(Broschüre)



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

SRU 2011:

„Die kleine Verbundlösung mit Norwegen und Dänemark wurde gewählt, weil die großen norwegischen Wasserkraft- und Pumpspeicherpotenziale gute Möglichkeiten für den Ausgleich fluktuierender Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien bieten.“

„Potenziale für Pumpspeicherung existieren aber beispielsweise auch in Schweden oder in den Alpenländern.“

**UND ???****Wie groß ist das Potenzial in Deutschland ?**SRU  Sachverständigenrat  
für Umweltfragen100% erneuerbare  
Stromversorgung bis 2050:  
klimaverträglich,  
sicher, bezahlbar

Stellungnahme

Mai 2010

Nr. 15

ISBN 978-3-9412-298

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

CZISCH 2005:

**„Potential: Die technischen Anforderungen, die ein Gelände zur Eignung für den Bau von PSKW aufweisen muß, sind so gering, daß beinahe überall PSKW in fast beliebiger Leistung installiert werden könnten (frei nach [Bog97]). „**

„Dies sei am folgenden Beispiel verdeutlicht. In einer Studie in der ehemaligen DDR wurden die Möglichkeiten der Errichtung von Pumpspeicherkraftwerken an ungefähr 1000 prinzipiell möglichen Standorten untersucht [Bog97].

Als Ergebnis dieser "Systematischen Suche nach Standorten für Pumpspeicherkraftwerke" wurden 20 Standorte mit ähnlich guten Bedingungen wie im unten beschriebenen Fall (Goldisthal) zusammengetragen.

Die Summe der vorgeschlagenen Nennleistungen beläuft sich auf ca. 14 GW mit durchschnittlich ca. 5,5 Volllaststunden Speicherkapazität [Bog98].

**Eine Begrenzung des Zubaus von PSKW ist also weniger durch ein maximal nutzbares Potential gegeben, sondern eher durch ökonomische und ökologische Anforderungen.“**

#### Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung

Kostenoptimierte Variationen zur Versorgung Europas und seiner Nachbarn mit Strom aus erneuerbaren Energien

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) im Fachbereich Elektrotechnik/Informatik der Universität Kassel

Institut für Elektrische Energietechnik /  
Rationelle Energiewandlung

vorgelegt von: Dipl.-Phys. Gerges Czisch

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt  
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hein

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Studienarbeit

- Findung von möglichen Standorten für kleine PSKW
- „Klein“ = 10 bis max. 50 ha (10 – 200 MW Ausbauleistung)
- **Wir suchen Kuppen und Täler, die noch nicht genutzt werden und nicht unter Schutz stehen !!!**
- GIS gestützte Standortanalyse
  - Ausgangsdaten:
    - Höhendaten: SRTM
    - Landnutzung: CORINE LC
    - EU Schutzgebiete (FFH, VSG, NSG, etc.)

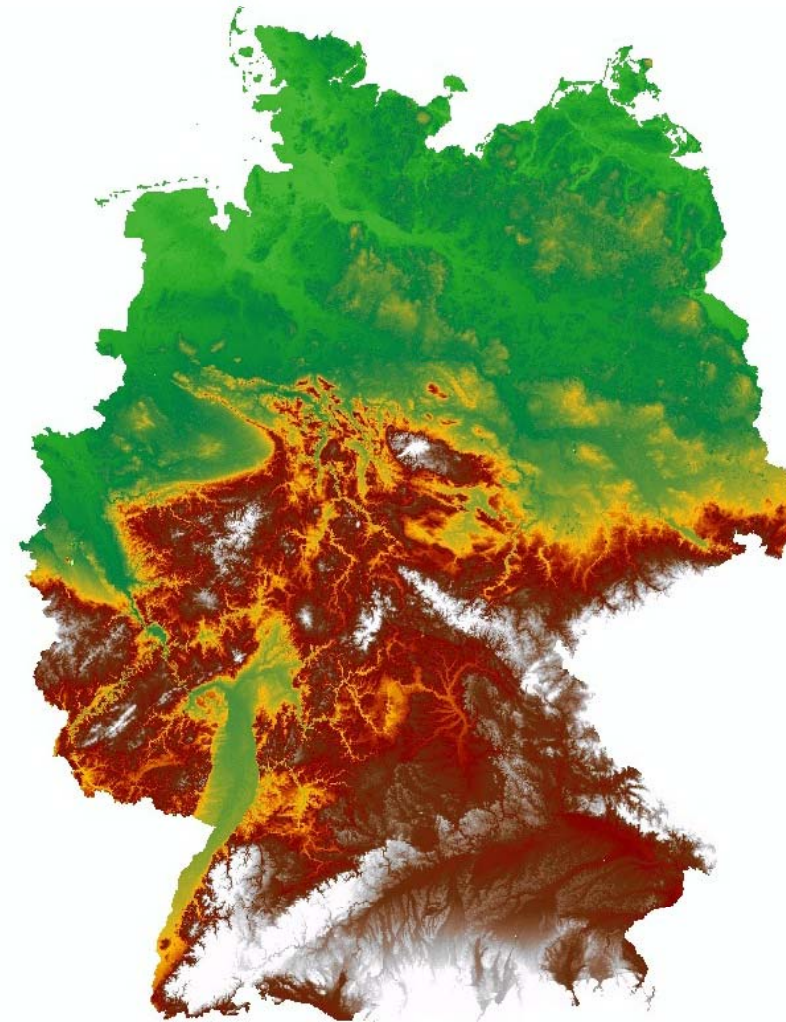
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## CLC (CORINE Land Cover)

→ CORINE = Coordinated Information on the European Environment



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Lage:



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

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

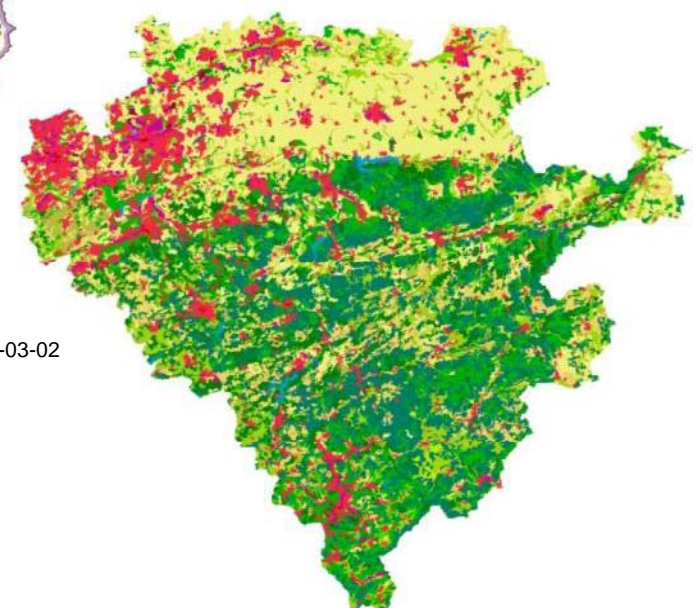
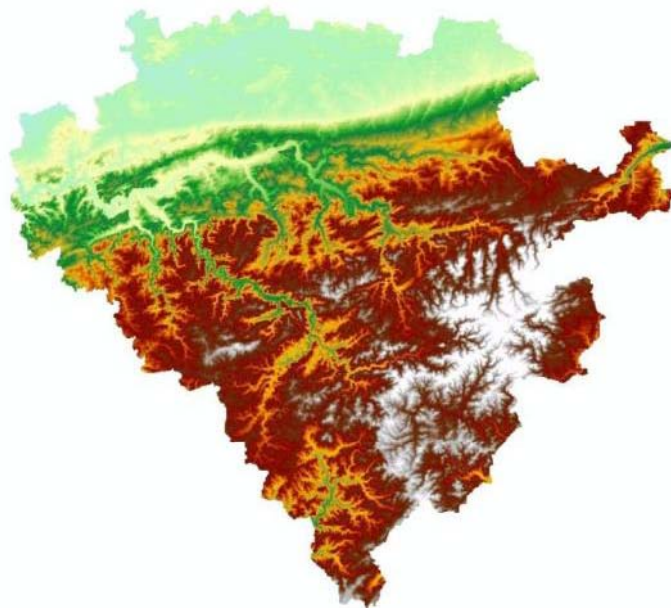
NRW500

DGM

CLC2006



Geobasisdaten © Land NRW, Bonn 2011-03-02



Einleitung

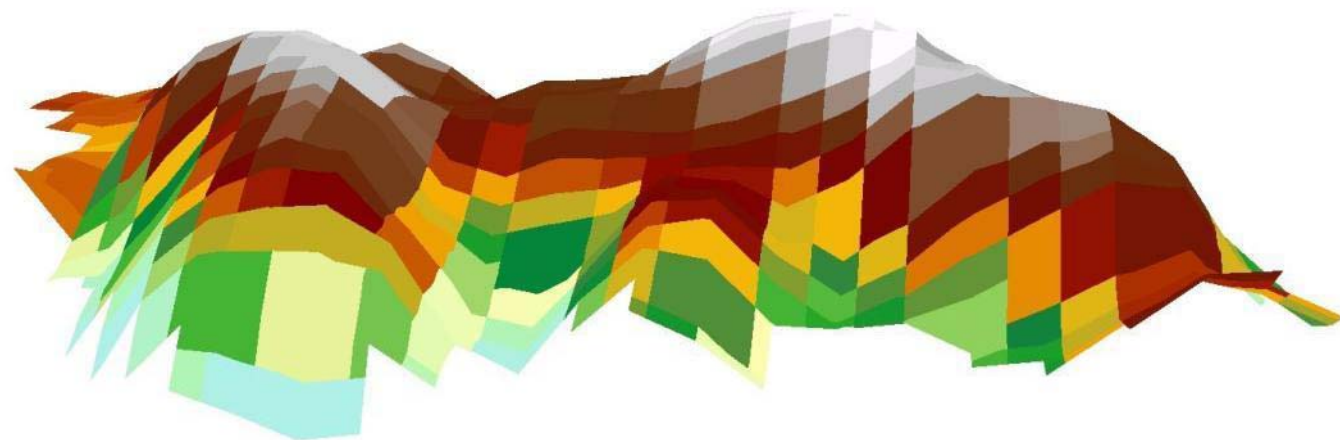
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Oberbecken: Kuppen

1. Berechnung von Höhenlinien aus dem SRTM-Raster
2. Selektieren der möglichen Längen
  - 20 ha :  $1600 \leq L \leq 2000$  m
  - 10 ha :  $1100 \leq L \leq 1400$  m
3. Flächenberechnen (Polyline  $\rightarrow$  Polygon)
4. Flächen exportieren



Einleitung

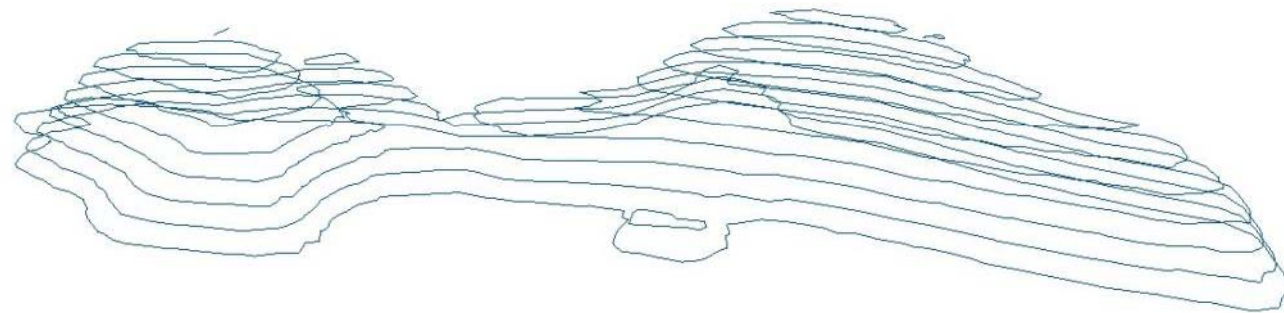
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Oberbecken: Kuppen

1. Berechnung von Höhenlinien aus dem SRTM-Raster
2. Selektieren der möglichen Längen
  - o 20 ha :  $1600 \leq L \leq 2000$  m
  - o 10 ha :  $1100 \leq L \leq 1400$  m
3. Flächenberechnen (Polyline  $\rightarrow$  Polygon)
4. Flächen exportieren



Einleitung

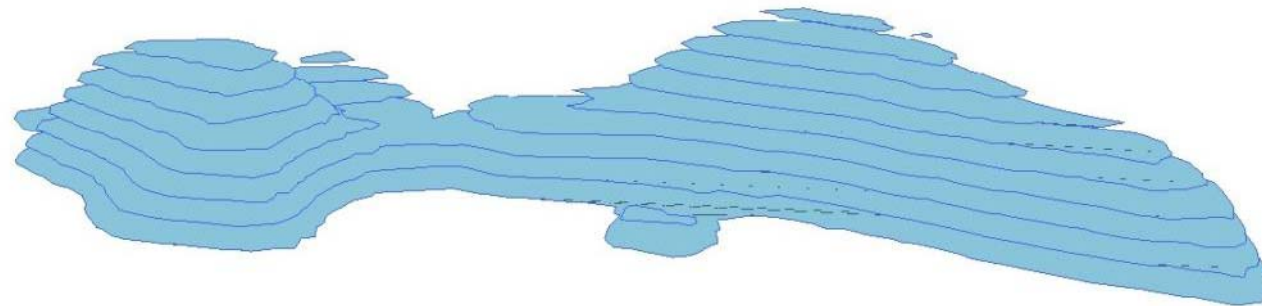
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Oberbecken: Kuppen

1. Berechnung von Höhenlinien aus dem SRTM-Raster
2. Selektieren der möglichen Längen
  - 20 ha :  $1600 \leq L \leq 2000$  m
  - 10 ha :  $1100 \leq L \leq 1400$  m
3. Flächenberechnen (Polyline → Polygon)
4. Flächen exportieren



Einleitung

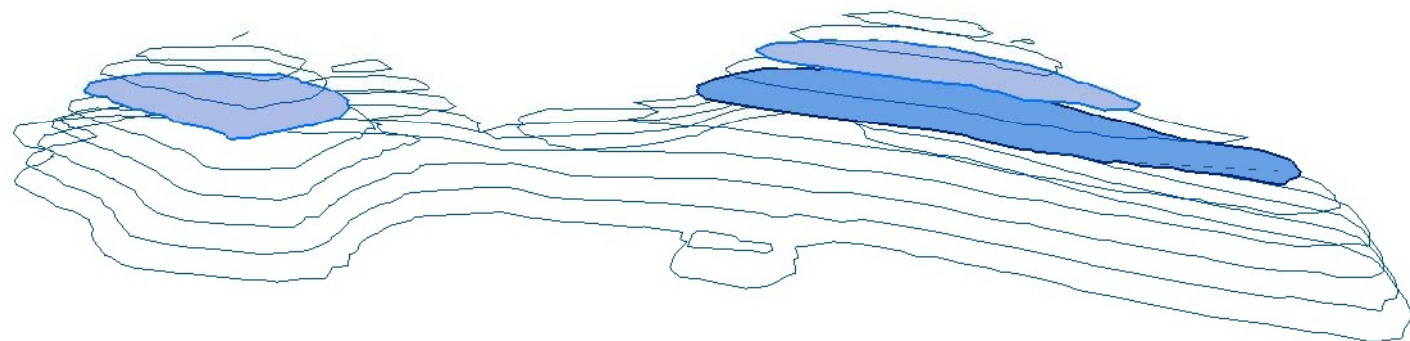
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Oberbecken: Kuppen

1. Berechnung von Höhenlinien aus dem SRTM-Raster
2. Selektieren der möglichen Längen
  - 20 ha :  $1600 \leq L \leq 2000$  m
  - 10 ha :  $1100 \leq L \leq 1400$  m
3. Flächenberechnen (Polyline → Polygon)
4. Flächen exportieren



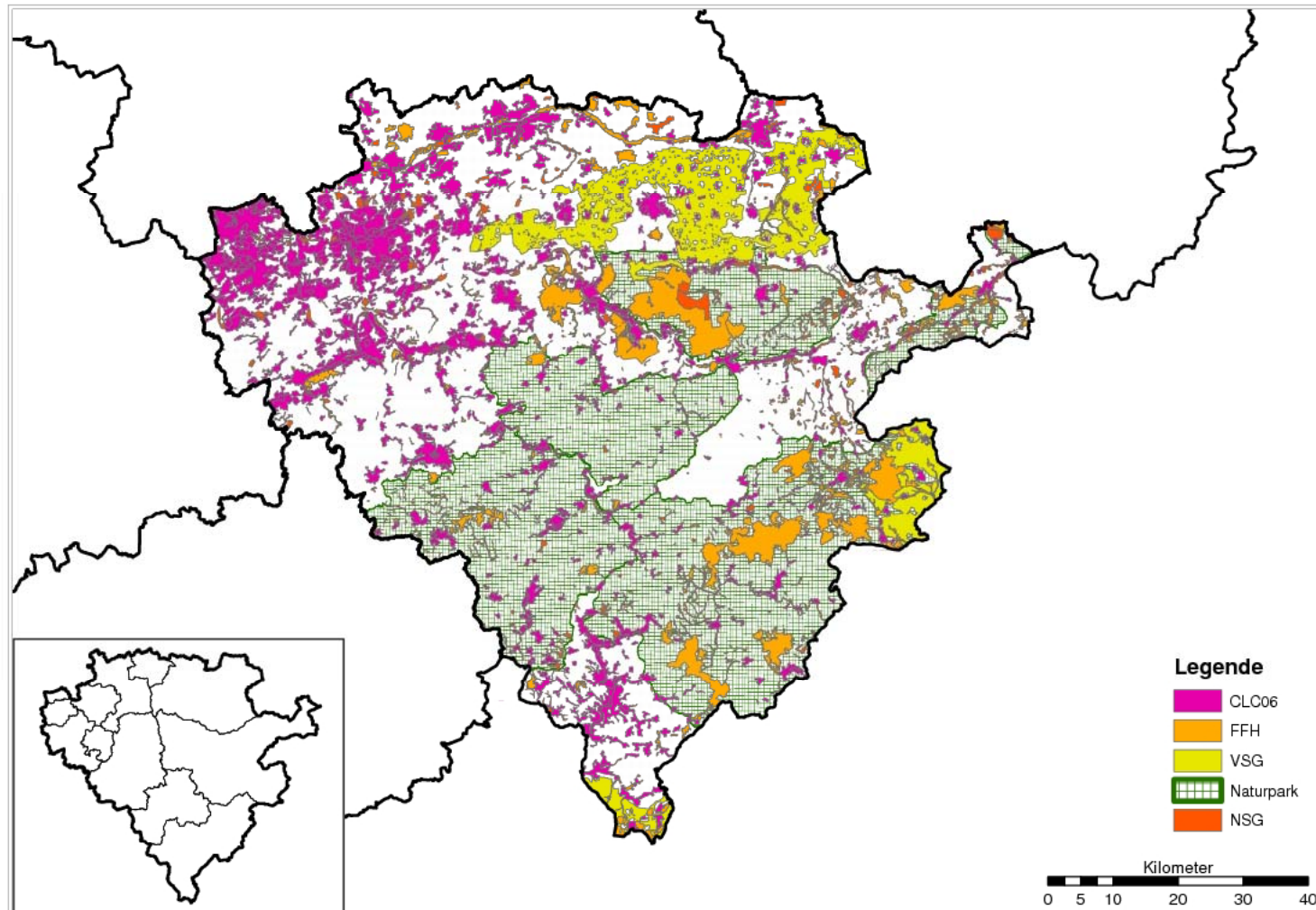
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Schutzgebiete:



Geobasisdaten | Land NRW, Bonn 2011-03-02

"Unter Verwendung von Sach- und Grafikdaten des Landesamtes für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz NRW (LANUV), Aktualisierungsdatum: 14.1.2011"

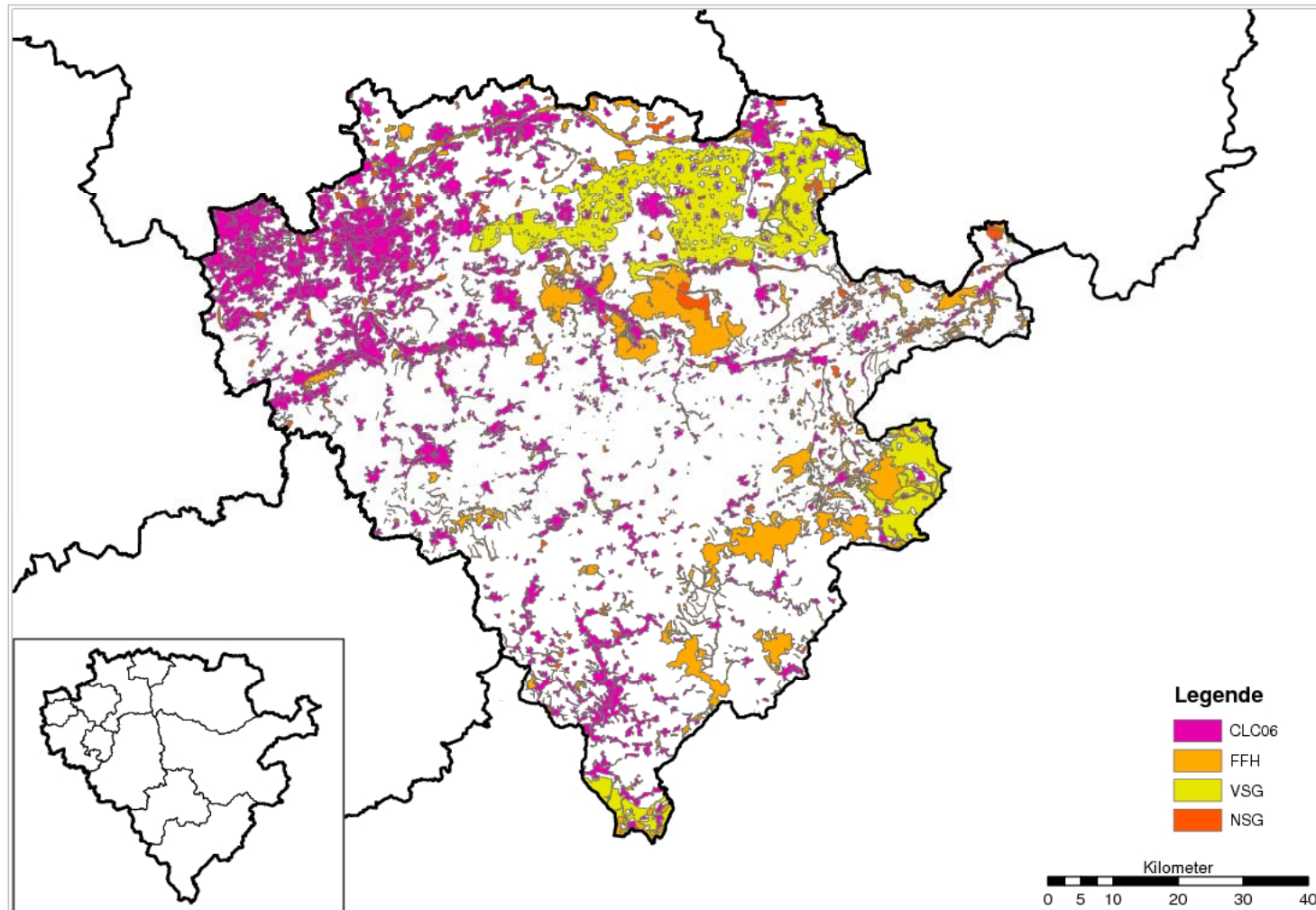
Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Schutzgebiete:



Einleitung

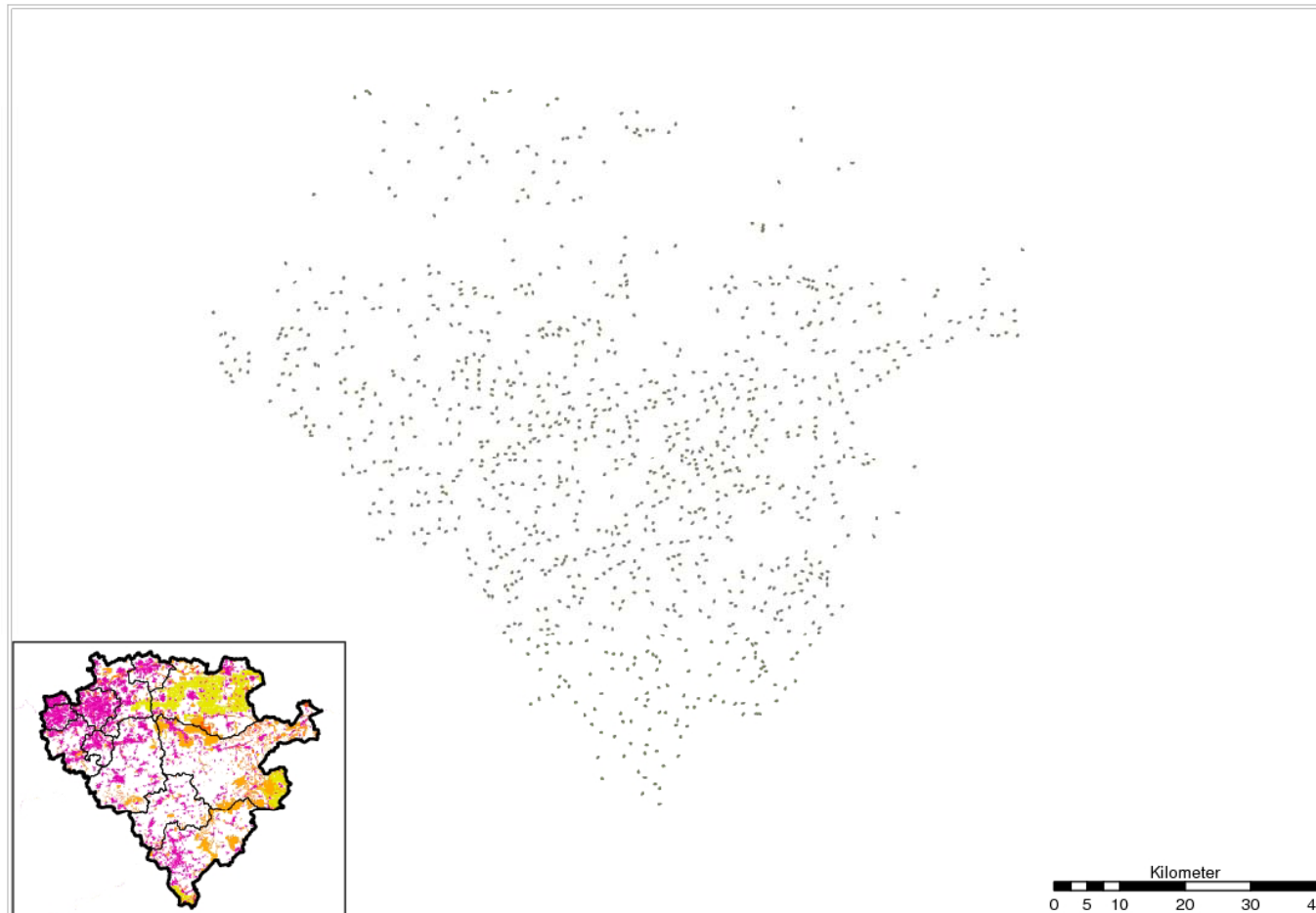
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Kuppen: ~ 10 ha

ohne CLC, FFH, VSG und NSG



Einleitung

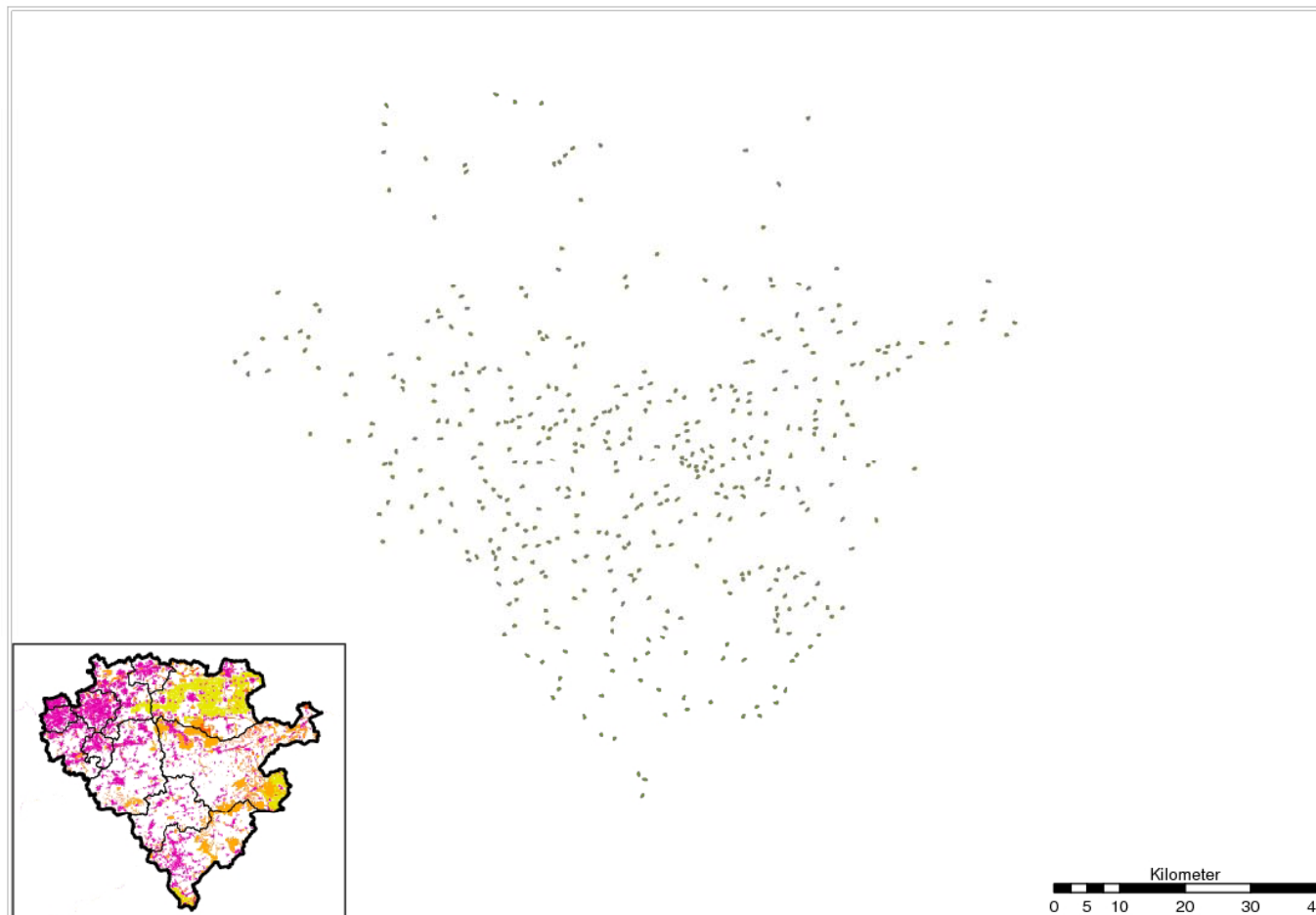
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Kuppen: ~ 20 ha

ohne CLC, FFH, VSG und NSG



Einleitung

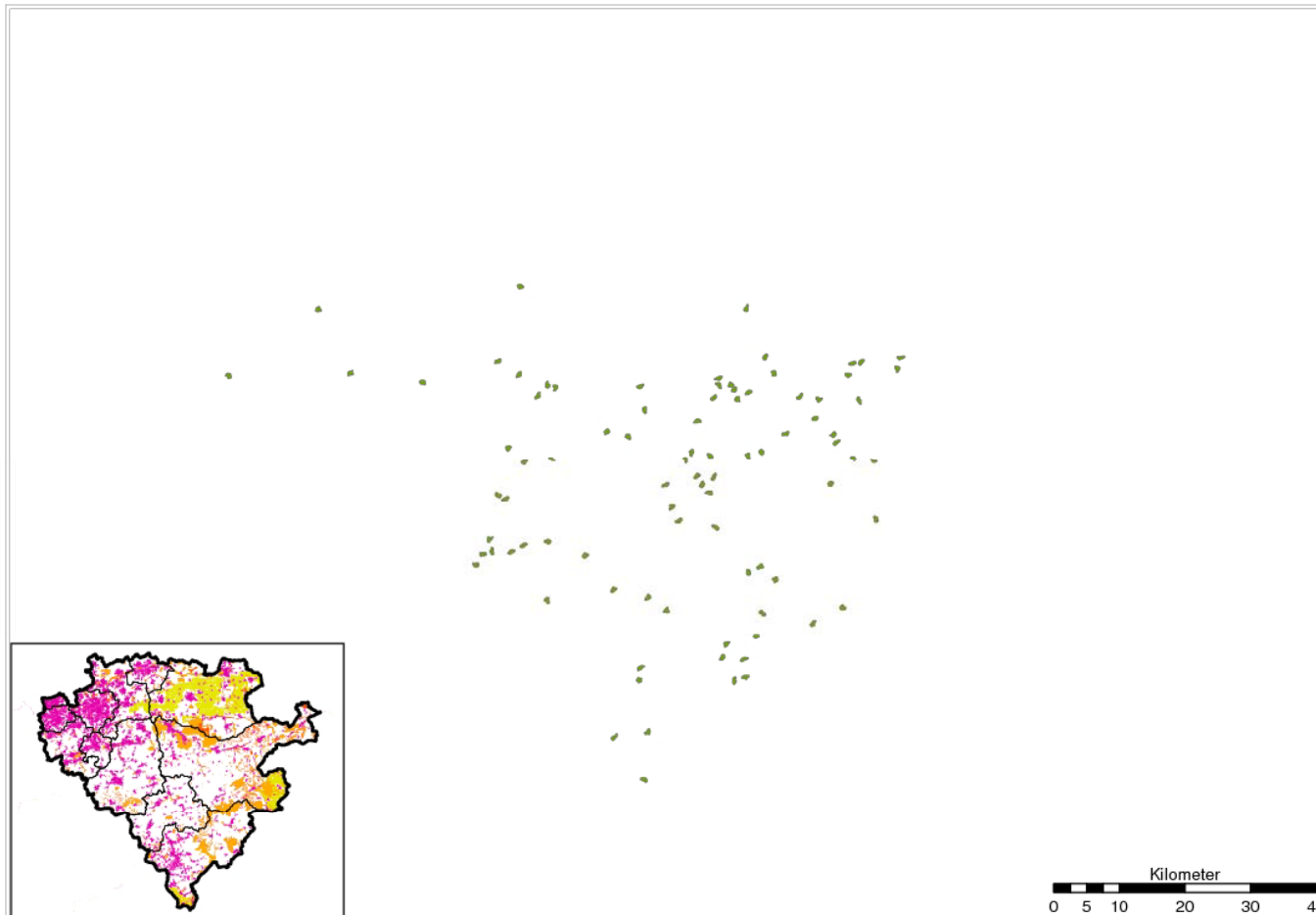
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

Kuppen: ~ 50 ha

ohne CLC, FFH, VSG und NSG



Einleitung

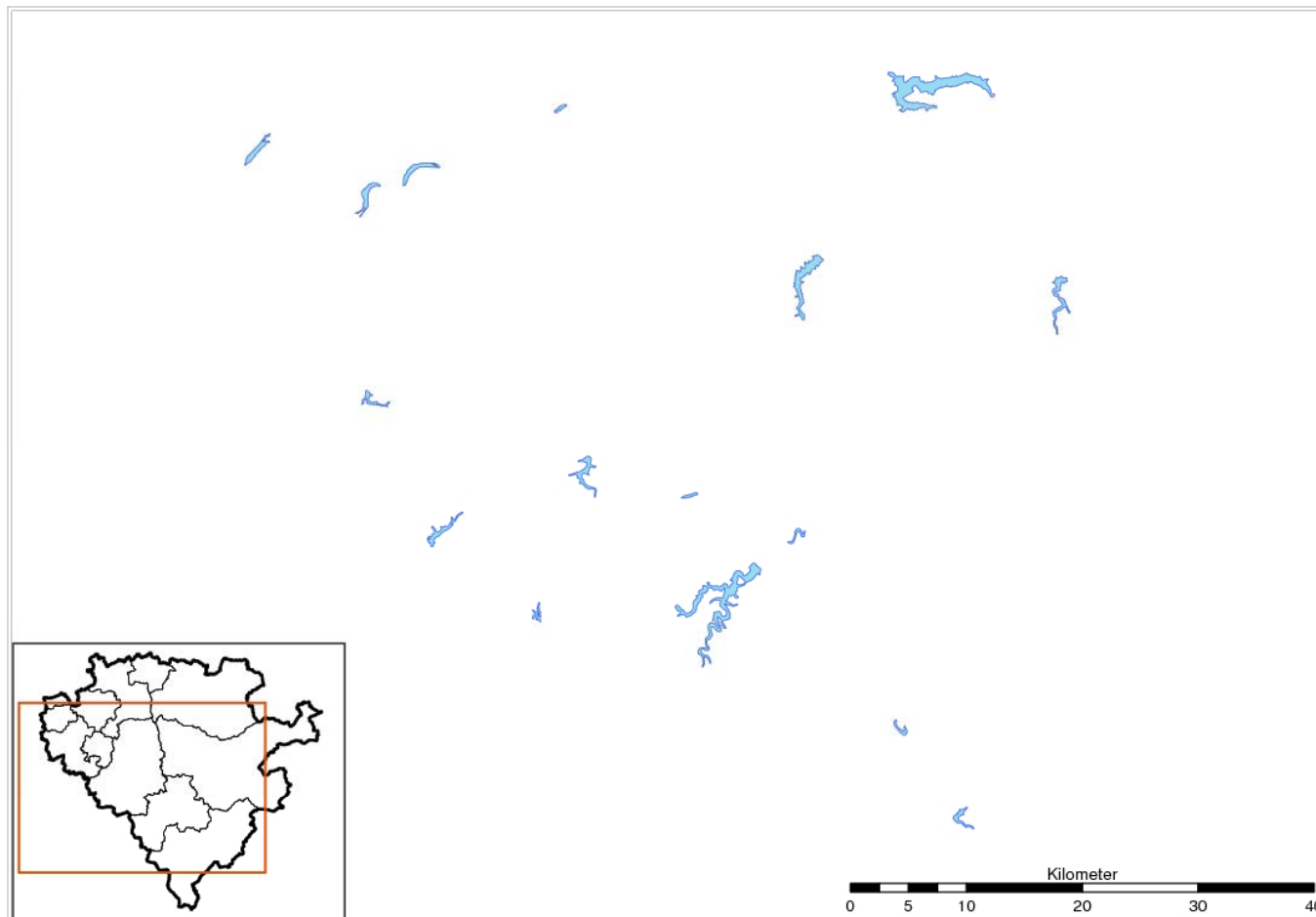
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

# Talsperren:

## Übersicht



Einleitung

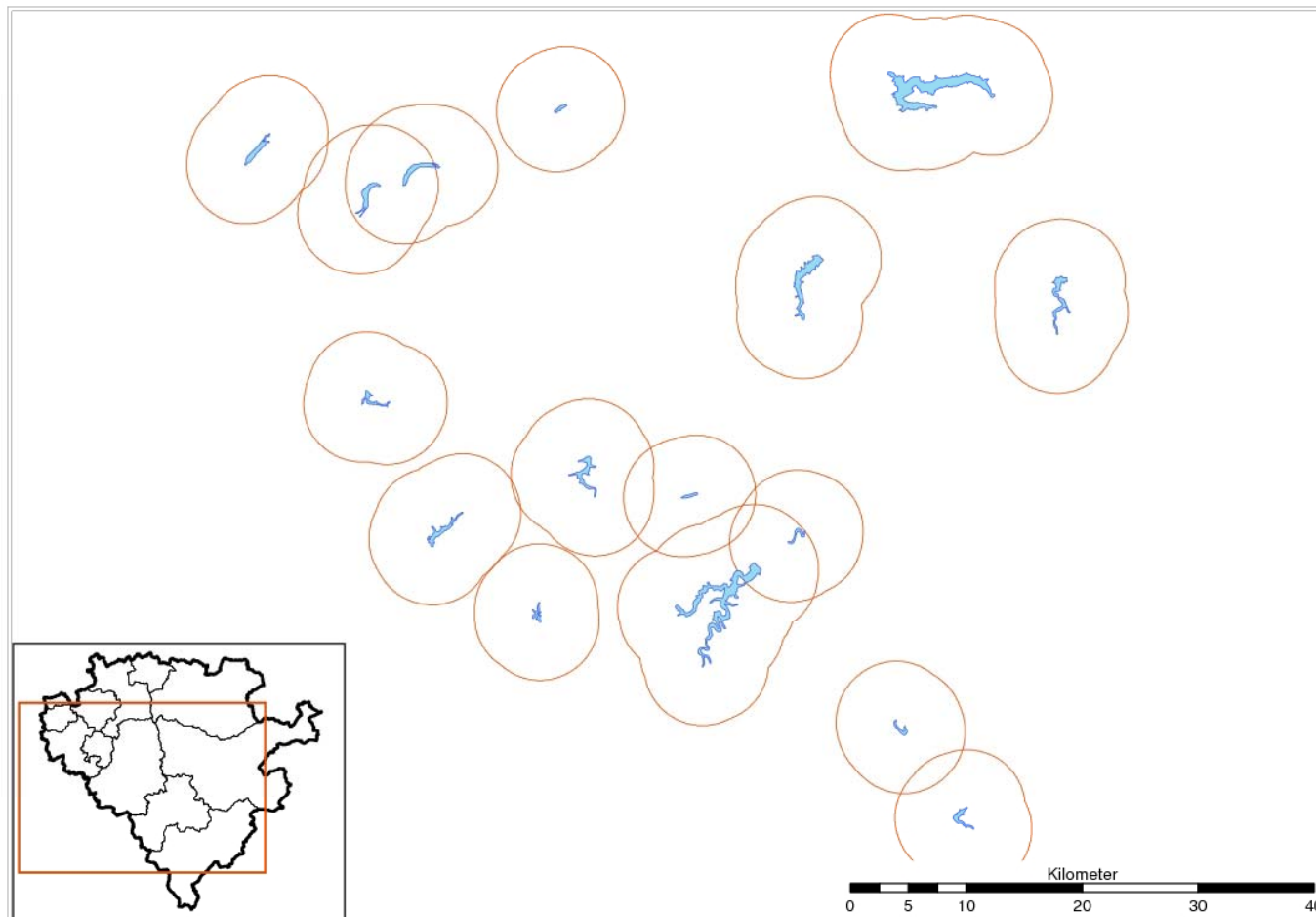
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

# Talsperren:

## Übersicht



Einleitung

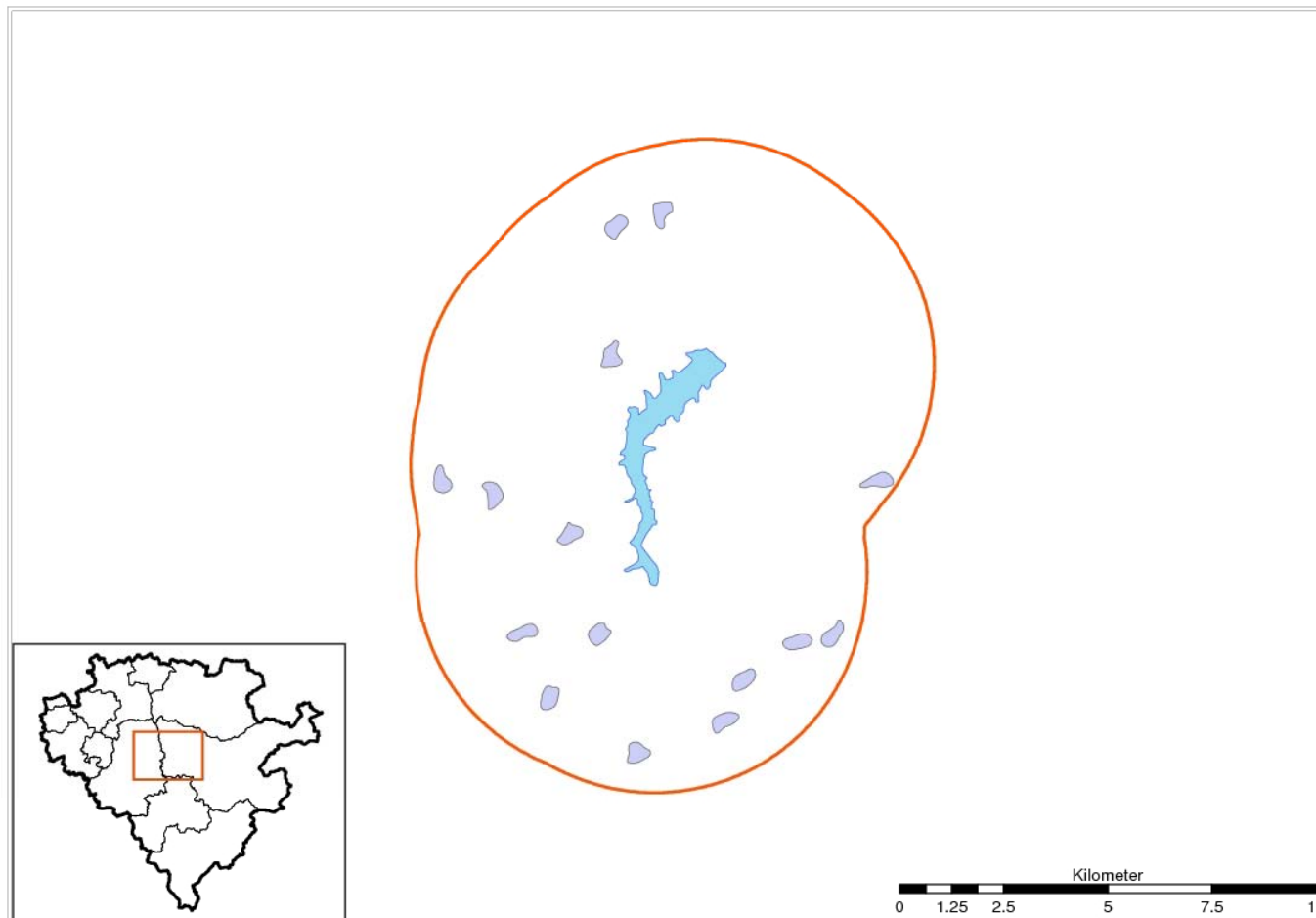
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Sorpetalsperre: Stauinhalt: 70,4 Mio. m<sup>3</sup> auf 330 ha



Einleitung

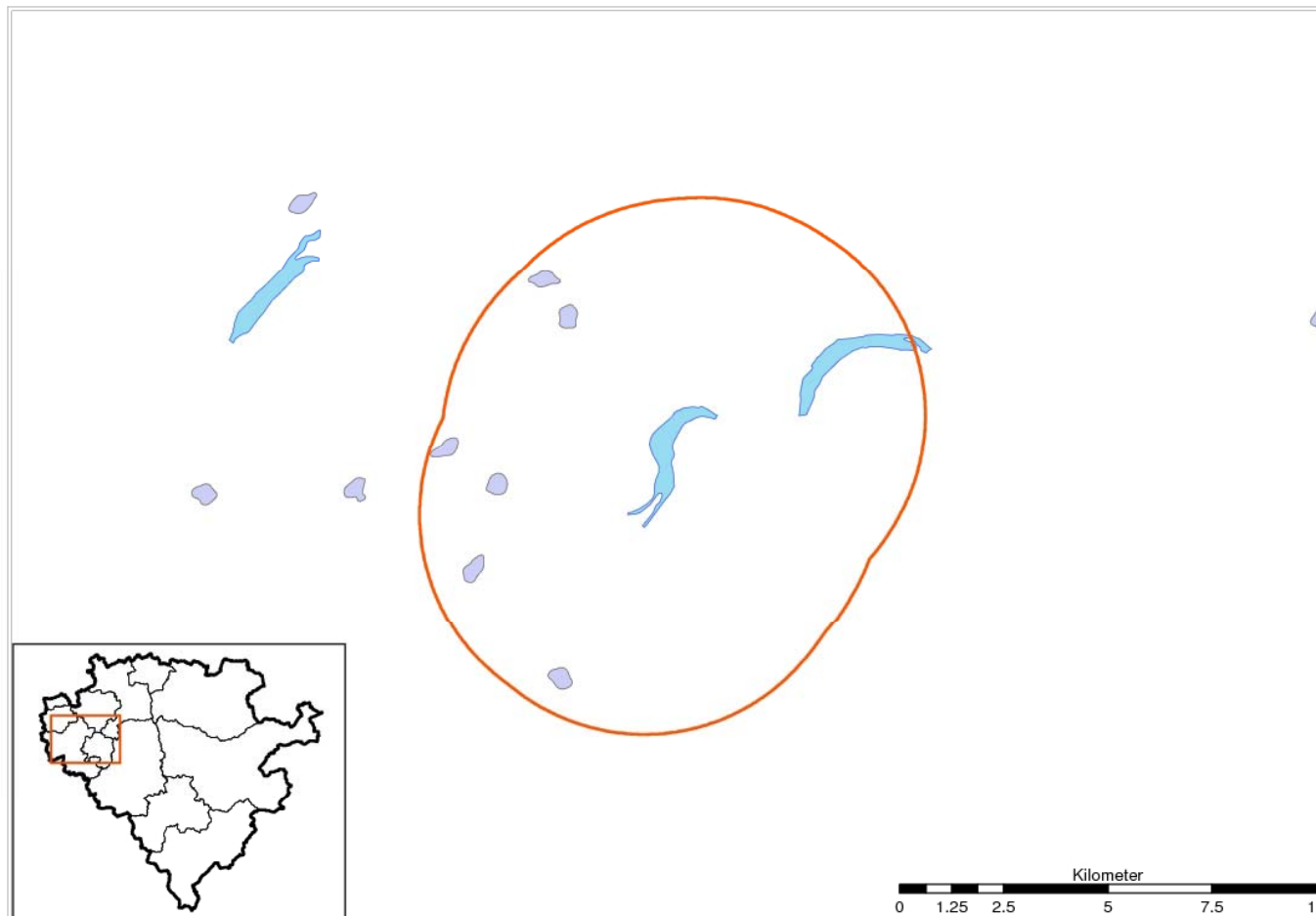
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Harkortsee: Stauinhalt: 3,1 Mio. m<sup>3</sup> auf 137 ha



Einleitung

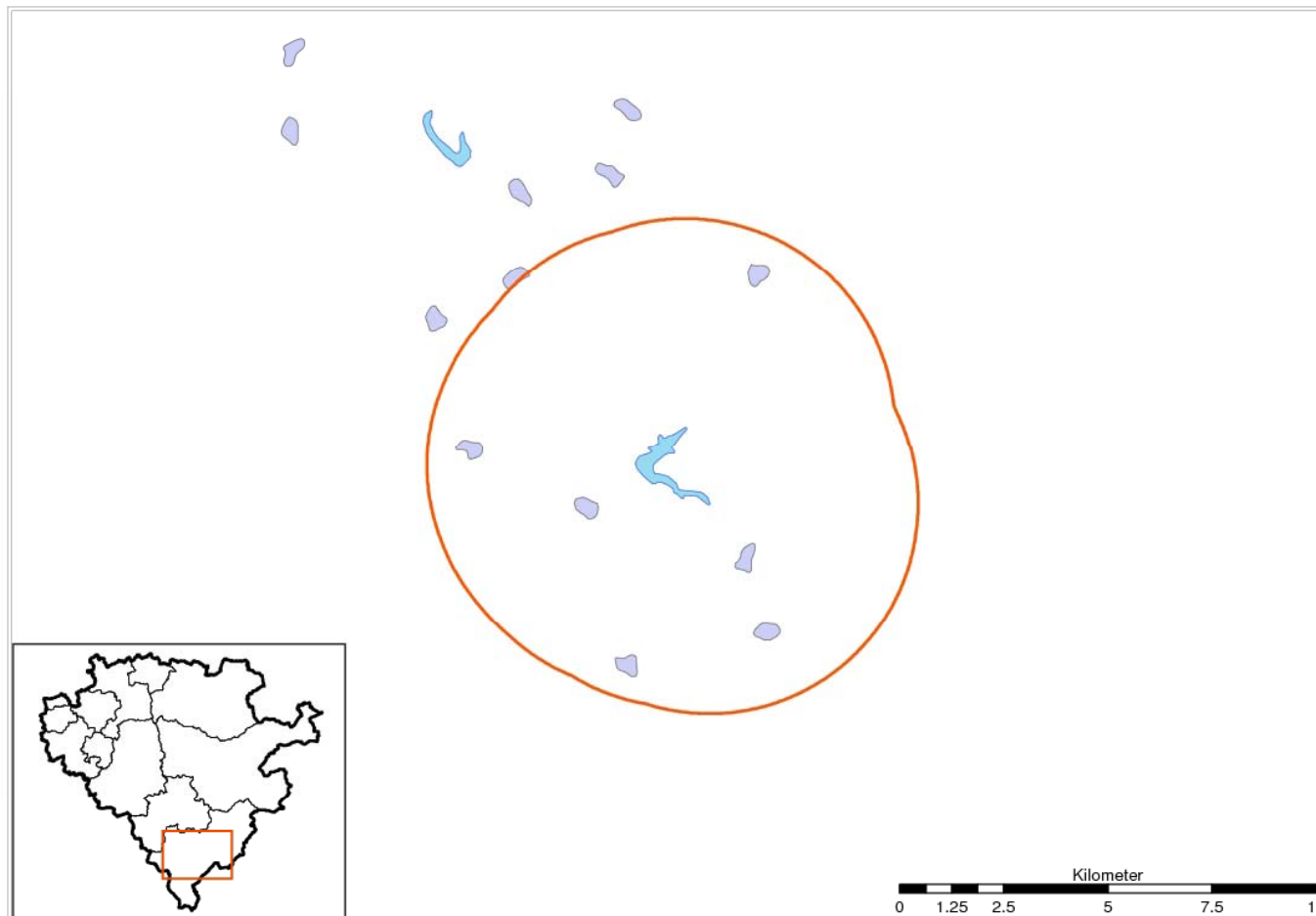
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Obernautalsperre: Stauinhalt: 14,8 Mio. m<sup>3</sup> auf 86 ha



Einleitung

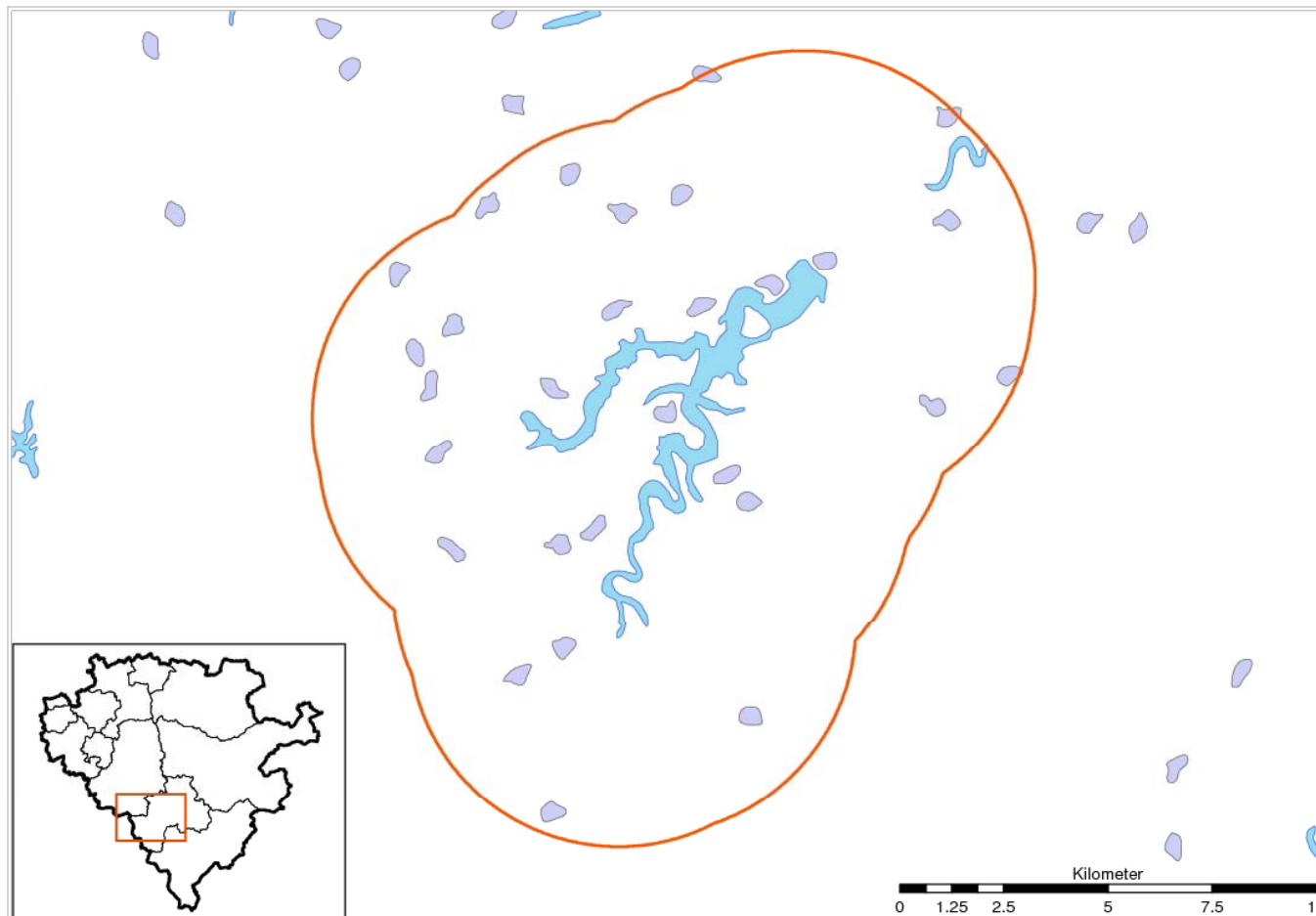
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Biggetalsperre: Stauinhalt: 171,7 Mio. m<sup>3</sup> auf 876 ha



Einleitung

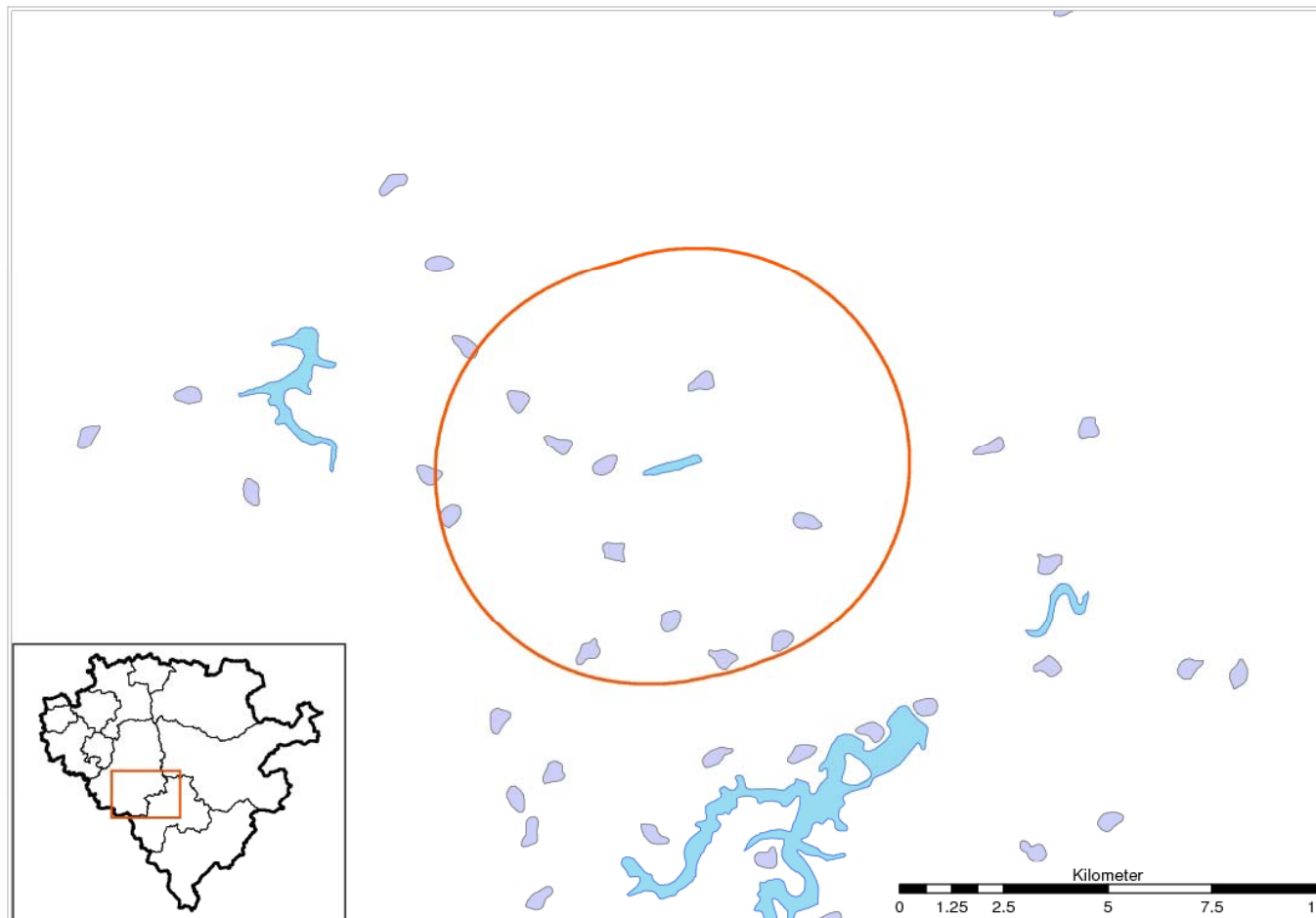
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Oestertalsperre: Stauinhalt: 3,1 Mio. m<sup>3</sup> auf 25 ha



Einleitung

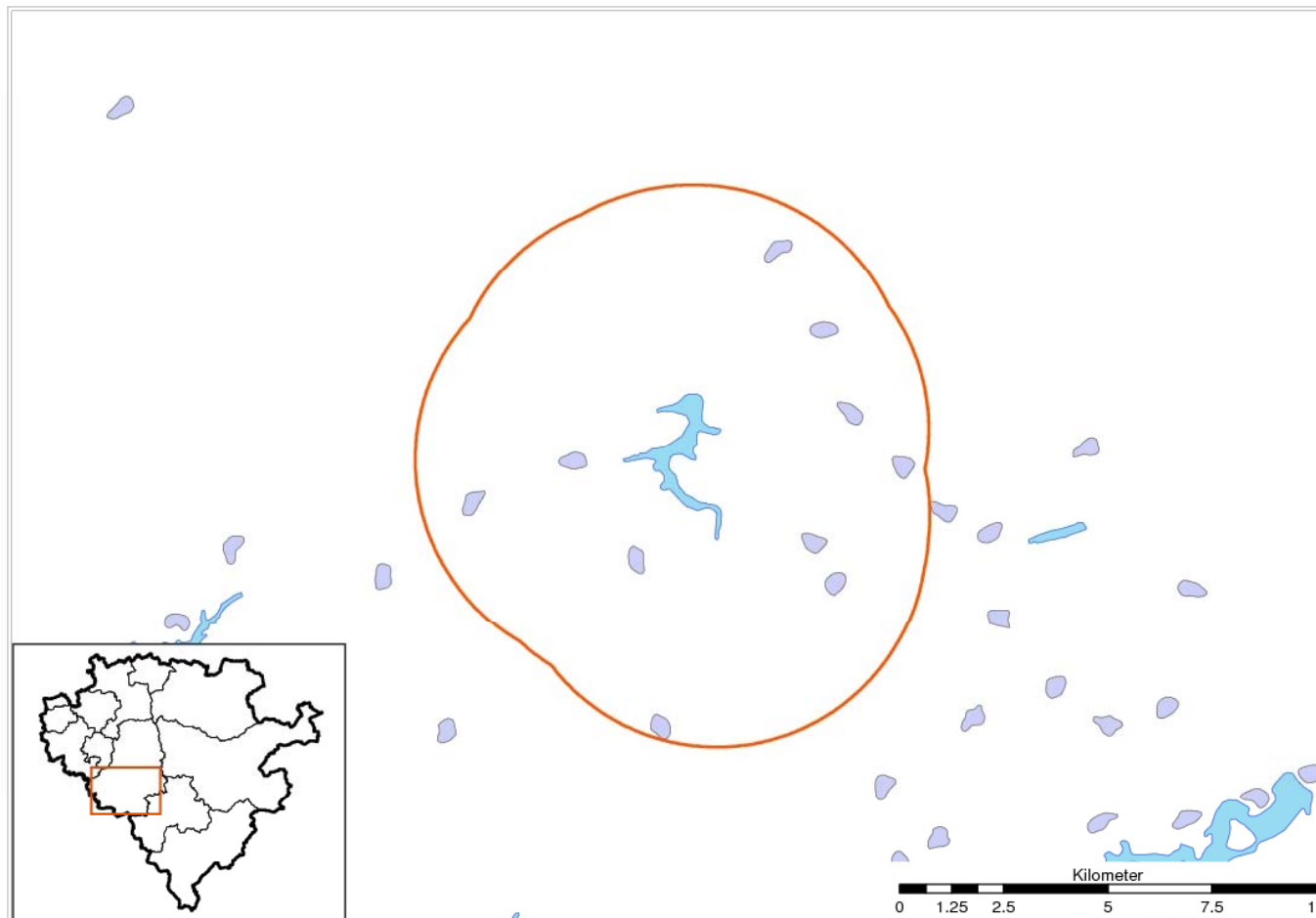
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

Versetalsperre: Stauinhalt: 32,8 Mio. m<sup>3</sup> auf 183 ha



Einleitung

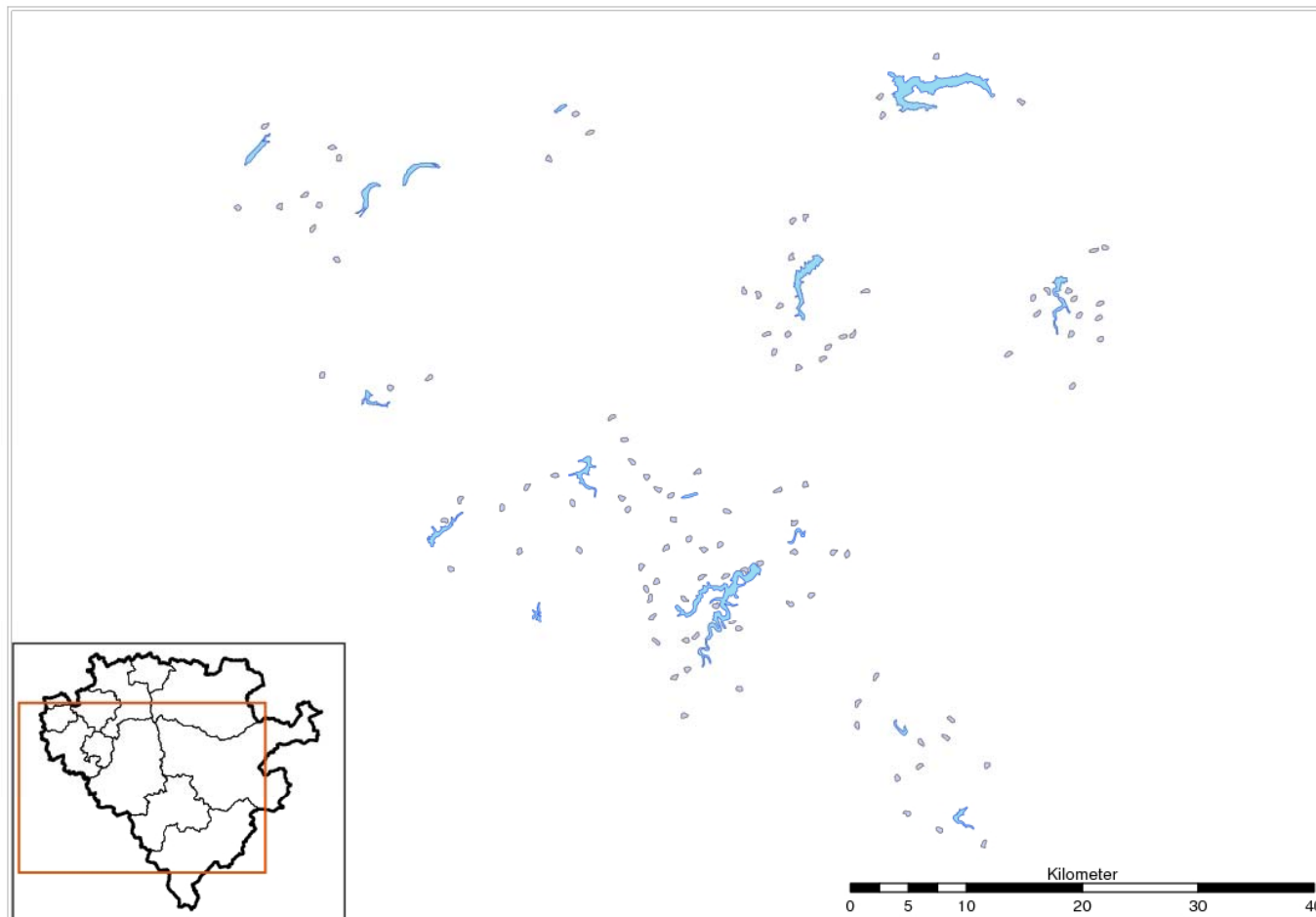
Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

# Talsperren:

## Übersicht



Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Talsperren:

## Tabelle

- Nr. des OB
- Höhe des OB
- Umfang
- Fläche
- Name der TS
- Höhe TS
- Höhendifferenz

| Nr. | Höhe_OB | Umfang_OB | Fläche_OB | Name_Talsperre       | Höhe_See | dH_m |
|-----|---------|-----------|-----------|----------------------|----------|------|
| 65  | 640     | 1.762,72  | 19,21     | Oestertalsperre      | 363      | 277  |
| 42  | 536     | 1.785,82  | 19,53     | Sorpetalsperre       | 283      | 253  |
| 106 | 609     | 1.708,56  | 19,51     | Obernautalsperre     | 371      | 238  |
| 38  | 549     | 1.585,26  | 19,03     | Hennetalsperre       | 323      | 226  |
| 59  | 579     | 1.687,22  | 19,02     | Oestertalsperre      | 363      | 216  |
| 103 | 580     | 1.691,67  | 19,03     | Breitenbachtalsperre | 370      | 210  |
| 64  | 510     | 1.741,39  | 19,50     | Biggetalsperre       | 308      | 202  |
| 39  | 482     | 1.683,82  | 19,11     | Sorpetalsperre       | 283      | 199  |
| 72  | 589     | 1.651,35  | 19,51     | Versetalsperre       | 390      | 199  |
| 46  | 520     | 1.660,22  | 19,50     | Hennetalsperre       | 323      | 197  |
| 43  | 475     | 1.718,81  | 19,83     | Sorpetalsperre       | 283      | 192  |
| 47  | 397     | 1.680,91  | 20,55     | Ennepetalsperre      | 207      | 190  |
| 59  | 579     | 1.687,22  | 19,02     | Versetalsperre       | 390      | 189  |
| 59  | 579     | 1.687,22  | 19,02     | Versetalsperre       | 390      | 189  |
| 78  | 496     | 1.736,97  | 19,80     | Biggetalsperre       | 308      | 188  |
| 28  | 509     | 1.718,08  | 19,43     | Hennetalsperre       | 323      | 186  |
| 45  | 392     | 1.792,44  | 19,34     | Ennepetalsperre      | 207      | 185  |
| 85  | 491     | 1.670,94  | 19,51     | Biggetalsperre       | 308      | 183  |
| 40  | 464     | 1.662,39  | 19,49     | Sorpetalsperre       | 283      | 181  |
| 33  | 457     | 1.848,54  | 19,30     | Sorpetalsperre       | 283      | 174  |
| 101 | 478     | 1.705,09  | 20,21     | Biggetalsperre       | 308      | 170  |
| 36  | 451     | 1.894,08  | 19,43     | Sorpetalsperre       | 283      | 168  |
| 88  | 474     | 1.872,10  | 19,62     | Biggetalsperre       | 308      | 166  |
| 88  | 474     | 1.872,10  | 19,62     | Biggetalsperre       | 308      | 166  |
| 95  | 471     | 1.876,48  | 19,28     | Biggetalsperre       | 308      | 163  |
| 61  | 550     | 1.690,96  | 19,06     | Versetalsperre       | 390      | 160  |
| 58  | 522     | 1.674,21  | 19,24     | Oestertalsperre      | 363      | 159  |
| 68  | 465     | 1.611,96  | 19,33     | Biggetalsperre       | 308      | 157  |
| 98  | 527     | 1.826,59  | 19,97     | Breitenbachtalsperre | 370      | 157  |
| 16  | 239     | 1.807,71  | 20,41     | Harkortsee           | 89       | 150  |
| 30  | 473     | 1.783,08  | 19,19     | Hennetalsperre       | 323      | 150  |
| 37  | 433     | 1.736,81  | 19,27     | Sorpetalsperre       | 283      | 150  |
| 44  | 357     | 1.638,09  | 19,77     | Ennepetalsperre      | 207      | 150  |

Einleitung

Grundlagen

Standortfindung

Ausblick

## Fazit und Ausblick:

- 1 Pumpspeicher werden von allen Beteiligten als eine sehr gute Option für Energiespeicher hervorgehoben.
- 2 Entgegen der weit verbreiteten Meinung, gibt es zahlreiche potentielle Standorte mit sehr hoher Qualität. Die Analyse ist ... .
- 3 Wirtschaftlich sind diese aber mit Standorten im Hochgebirge nicht vergleichbar.
- 4 Die Öffentlichkeit ist nicht ausreichend informiert !
- 5 Pumpspeicher haben keine Lobby ! Warum nur ???

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !**