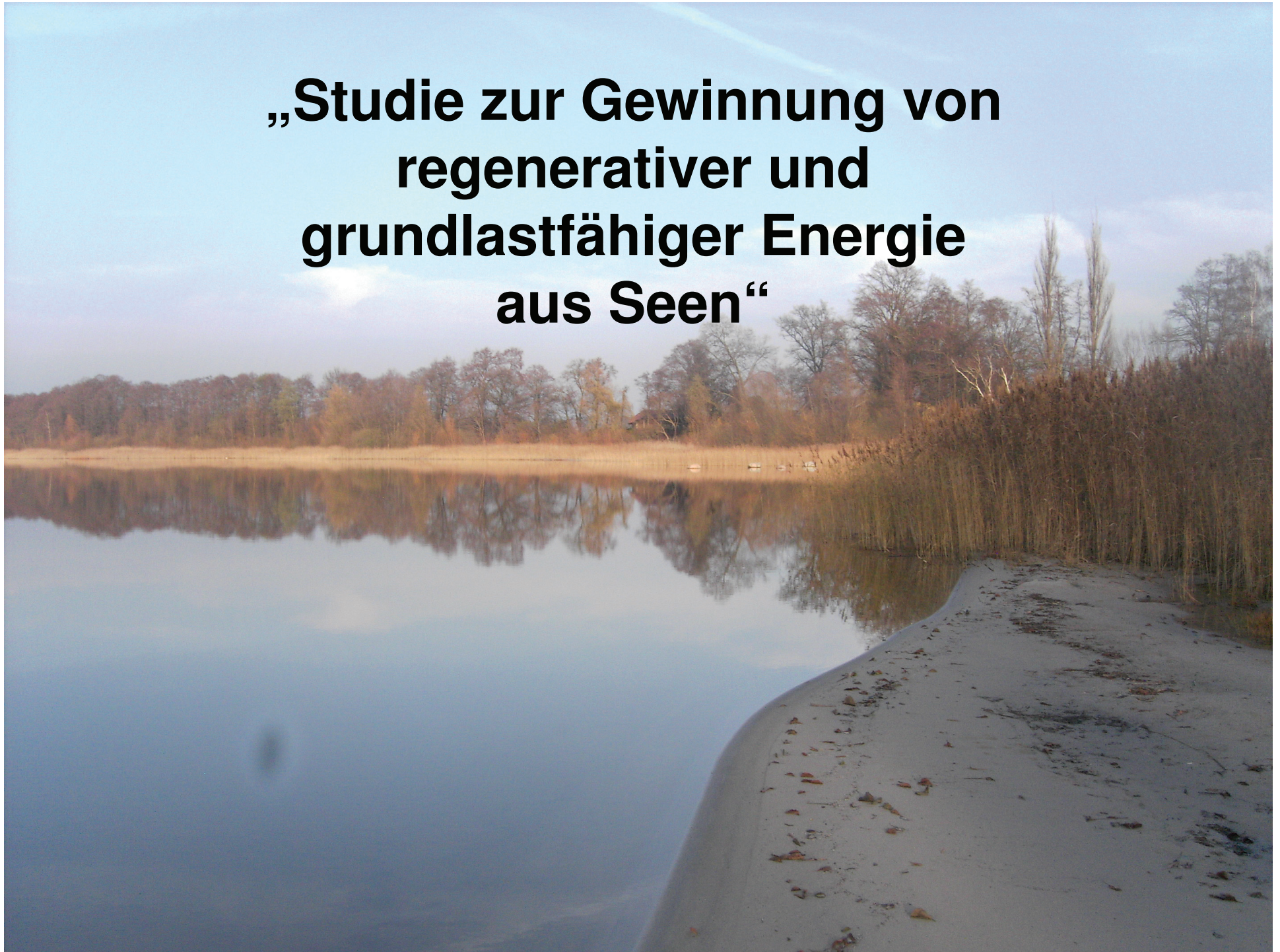


**„Studie zur Gewinnung von  
regenerativer und  
grundlastfähiger Energie  
aus Seen“**



# Überblick über die Aufgabenbereiche

## Grundlagenermittlung/Datenerfassung zur:

- Biomasse - Energiegewinnung aus Biomasse in und an Seen
- Biogas - Energiegewinnung aus Sedimenten von Seen
- Wärmepumpentechnik - Energiegewinnung aus der Wärme von Seen
- Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

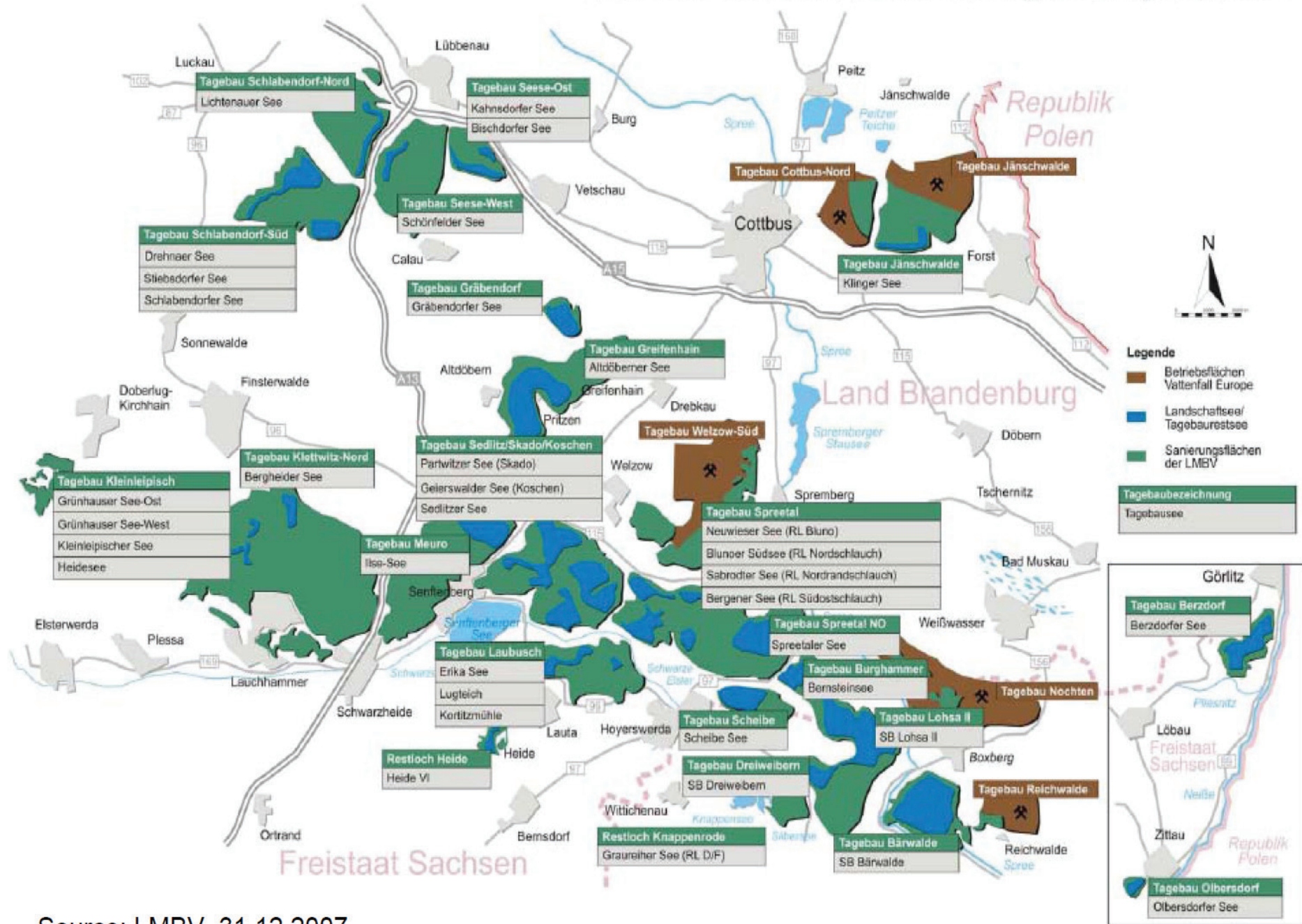
# Ausgangslage des Projektes

- Brandenburg ist reich an natürlich entstandenen Seen:
- **27.500 Stillgewässer** (Seen, Teiche, Tagebaurestseen, Kiesgruben, Talsperren usw.)
- Gesamtfläche von ca. **67.300 ha**
- 3.400 Standgewässer weisen eine Fläche von über 1 ha auf.
- neue künstliche Seengebiete kommen hinzu: **Flutung nicht mehr genutzter Tagebaurestlöcher**
- Lausitzer Seenland: neue Wasserfläche von **13.178 Hektar**

# Geflutete Tagebaurestlöcher



# Wasserwirtschaftliches Planungskonzept Lausitz



Source: LMBV, 31.12.2007

# Ausgangslage des Projektes

- Klimawandel/Klimaerwärmung:
- Szenarienberechnungen für die nächsten 50 Jahre:  
Temperaturanstieg von 3, 5 Kelvin
- **Brandenburg ist zwar gewässerreich aber auch wasserarm**
- Brandenburg gehört zu den niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands
- **Flachlandseen drohen zu verdunsten bzw. zu verlanden**
- **sinnvolle Seenbewirtschaftung:**
  - wirkt in dreierlei Richtungen der Verlandung entgegen:
  - Verringerung der Verdunstung durch Wärmeentzug
  - Entfernung von Biomasse, welche sich als Sediment im See ablagern würde
  - Entfernung des Sedimentes selbst

# Ausgangslage des Projektes

- erneuerbare und grundlastfähige Energien:
- Biomasse und Biogas, Geothermie bzw. Wärmepumpentechnik und Wasserkraft
- Wind und Sonnenenergie haben große Schwankungen (Schwachwindphasen und Nächte)
- Wind- und Sonnenstromerzeugung wachsen bereits in den Mindestlastbereich hinein
- hoher Bedarf an Regelleistung zur Frequenzhaltung und Netzstabilisierung
- Anteil der erneuerbaren und auch grundlastfähigen Energien am Beitrag der erneuerbaren Energien zum Gesamtstromverbrauch in Brandenburg: nur 25,4 % (Stand 2010)

Energieträger		Anzahl Anlagen	Maximale Anlagenleistung
	Solarstrom	8.648 Anlagen	149.643 MWh/Jahr
	Windkraft	2.233 Anlagen	5.118.606 MWh/Jahr
	Wasserkraft	30 Anlagen	7.536 MWh/Jahr
	Biomasse	223 Anlagen	1.632.140 MWh/Jahr
	Klärgas, etc	28 Anlagen	155.267 MWh/Jahr
	Geothermie	0 Anlagen	0 MWh/Jahr
		Gesamt	7.063.191 MWh/Jahr



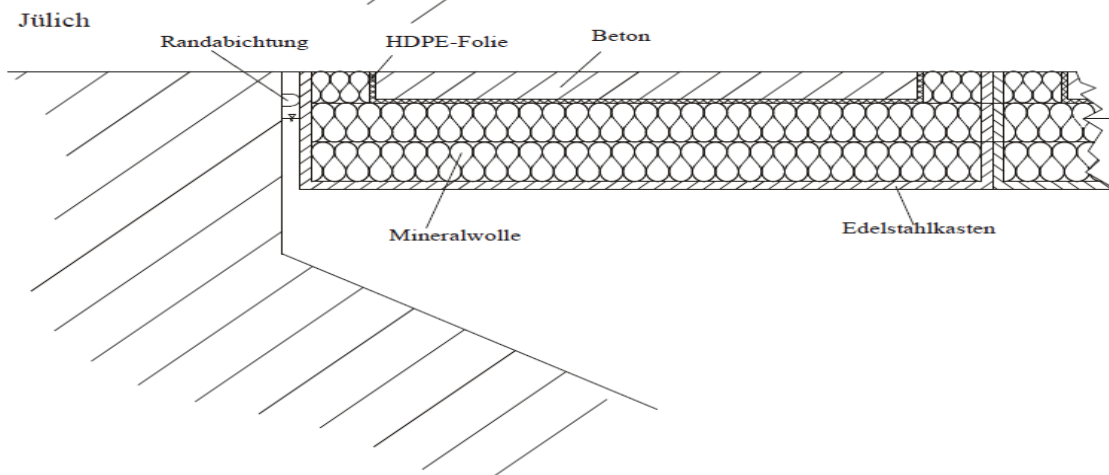
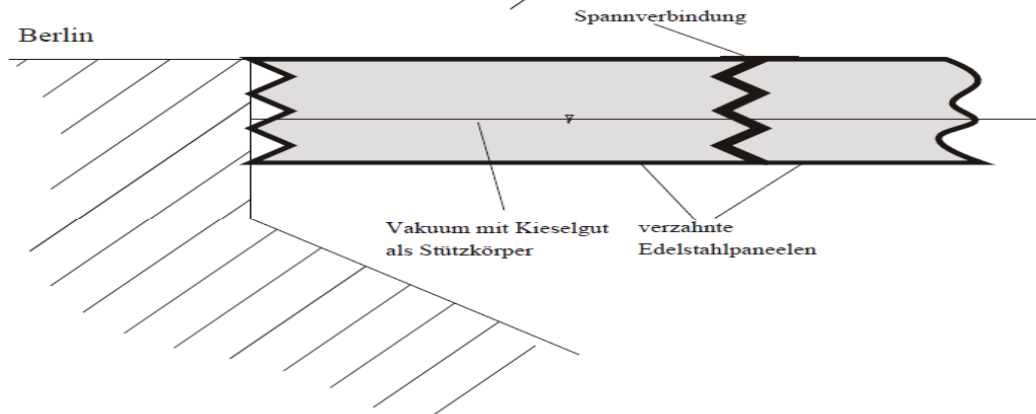
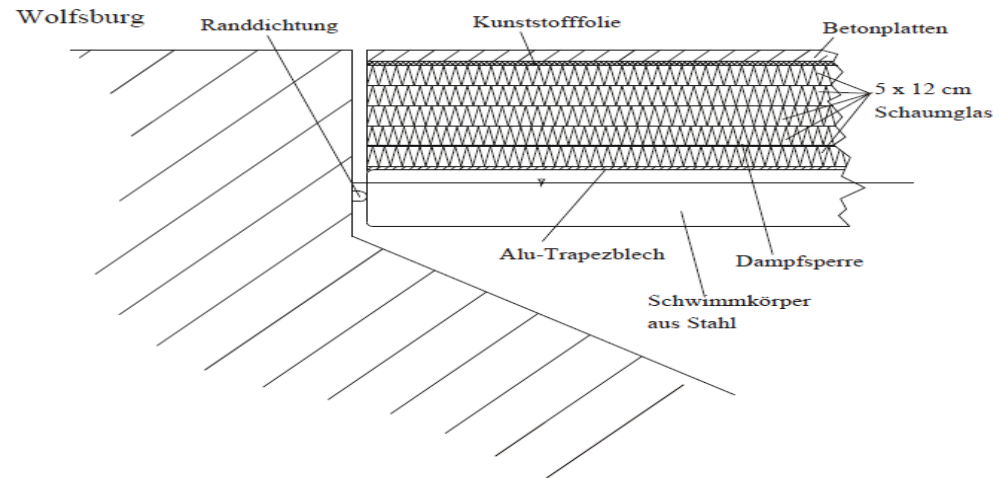
# Ausgangslage des Projektes

- Seen sind **Wärmespeicher**
- **Wärmeaufnahme:**
  - durch Absorption von Strahlungsenergie in den obersten Schichten eines Gewässers
  - Absorption von **bis zu 80% der einfallenden Strahlung**
- **Wärmeleitfähigkeit von Wasser:**
  - das Wasser in Gewässern erwärmt und kühlt sich ab in freier Natur langsamer als die Umgebung
  - Folge: **im Winter weist das Wasser in Gewässern immer eine höhere Temperatur auf als die Umgebung**
  - Vorteil: die in den Sommermonaten anfallende und meist nicht benötigte Wärme steht in den kalten Wintermonaten zur Verfügung

# Ausgangslage des Projektes

- **Wärmeverlust:**
- durch Ausstrahlung, Verdunstung, Abfließen von warmen Wassers
- **Lösung des Wärmeverlustes:**
- **Wärmedämmung** mit schwimmenden **Kunststoff-Folien**
- Forschungen zu schwimmende Abdeckungen für Langzeit- Wärmespeicher:

Ort	Jahr	Land
Studsvik	1978	Schweden
Lambohov	1979	Schweden
DTU	1982	Dänemark
Mannheim	1983	Deutschland
Wolfsburg	1984	Deutschland
Berlin	1986	Deutschland
Ottrupgaard	1995	Dänemark
Jülich	1996	Deutschland
DTU	2001	Dänemark
Marstal	2003	Dänemark



# Ausgangslage des Projektes

- Seen sind **Energiespeicher**
- Speicherung großer Energiemengen außerhalb von Pumpspeicherkraftwerken → derzeit technisch äußerst anspruchsvoll
- **Problem bei Pumpspeicherkraftwerken :**
  - Großteil der Windenergie wird in Flachlandzonen erzeugt
  - Pumpspeicherkraftwerke befinden sich naturgemäß in den Gebirgsregionen
  - Zur Speicherung der Energie aus Brandenburg wären lange **Trassen quer durch Deutschland notwendig**
  - → **wirtschaftlich nicht rentabel**
  - → **aus ökologischen Gesichtspunkten bedenklich**

## Ausgangslage des Projektes

- Förderung der grundlastfähigen und erneuerbaren Energien sowie der Energiespeicherung muss vorangetrieben werden
- Vorhandene grundlastfähige und erneuerbare Energien in Seen:
  - Biomasse an und in Seen
  - Biogas im Sediment
  - Wärme in Seen
  - und Wasserkraft
- Speicherung von Strom und Wärme in Gewässern ist möglich

# Zielsetzung des Projektes

- Primär:
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer und grundlastfähiger Energien am Gesamtenergieverbrauch
- Sicherstellung des Ausbaus der übrigen erneuerbaren Energien wie Wind- und Sonnenenergie durch Aufzeigen von weiteren Speichermöglichkeiten
- Erhöhung der Energieeffizienz von bspw. Biomassekraftwerken durch Speicherung der Abwärme in künstlichen Gewässern (Tagebaue)
- Sekundär:
- Aufzeigen des Synergieeffekts zwischen dem übergeordneten Ziel der Energieerzeugung und der Erhaltung von Seen
- Vorbeugung der Verlandung von Flachseen

# Aufgabenbereich Biomasse - Energiegewinnung aus Biomasse in und an Seen

- **Kritik am Energiepflanzenanbau:**
- ökologisch nachteilige Auswirkungen für Boden, Wasser und Biodiversität (Monokultivierung der Ackerflächen und verstärkter Einsatz von Pestizid- und Düngemitteln)
- Risiken hinsichtlich des Flächenverlustes für die Lebens- und Futtermittelherstellung
  
- **Lösung:**
- Nutzung von Wasserpflanzen und Biomasse aus der Uferandbewirtschaftung
- Wasserpflanzen sind zur Energieerzeugung bisher nicht genutzt worden









# Aufgabenbereich Biomasse - Energiegewinnung aus Biomasse in und an Seen – Beispiel Schilfmahd

- Habitatfunktion:  
Kinderstube der Fische, Brut- und Übernachtungsplatz für Vögel, Lebensraum für div. Tiergruppen (Insekten, Lurche, ...)
- Stoffspeicherfunktion von überschüssigen Nährstoffen des Sees



## Ergebnisse der Verbrennungsversuche

Biomasse - Blockheizkraftwerk der GMK,  
Ges. für Motoren und Kraftanlagen mbH,  
Friedland

### Technische Daten:

Rostfeuerung

Verbrennungskapazität: bis 10 MW

### **Brennstoff**

Holz hackschnitzel: 6.000 – 20.000 t/a

### **Energie-Produktion**

ORC Turbine: 0,5 – 2,0 MWel

Fernwärmekapazität: 3,0 – 8,0 MW



### **Vorteile der Verbrennung von Schilf und Rohrglanzgras:**

- guter Heizwert, ~10 % niedriger als bei Holz
- hohe Temperaturen bei beginnender Ascherweichung  
→ höher als bei Holz
- niedrige Wassergehalte, bei Wintermahd auch ohne Trocknung  
→ niedriger als bei Holz

Wichtmann (2009)

# Aufgabenbereich Biomasse - Energiegewinnung aus Biomasse in und an Seen – Beispiel Schilfmahd

## Schilf als Energiequelle - Potential im Land Brandenburg

- Ertragspotential: 10 – 15 t / ha\*a
  - Wasserflächen Brandenburg: ca. 620 km<sup>2</sup>
  - Schilfflächen: ca. 100 km<sup>2</sup>
  - Bewirtschaftungsfläche pro Jahr: ca. 2500 ha
  - Energiepotential: 1 t Schilf = 5220 kWh
  - Gesamtpotential: 156.500 MWh/a
- 
- **Bsp. Großer Seddiner See:**
  - bewirtschaftete Schilffläche 7,5 ha
  - Ertrag 93,7 t pro Jahr
  - Energieertrag: 490.000 kWh

# Exkurs – Biomasse an und in Füßen



2009 06 04



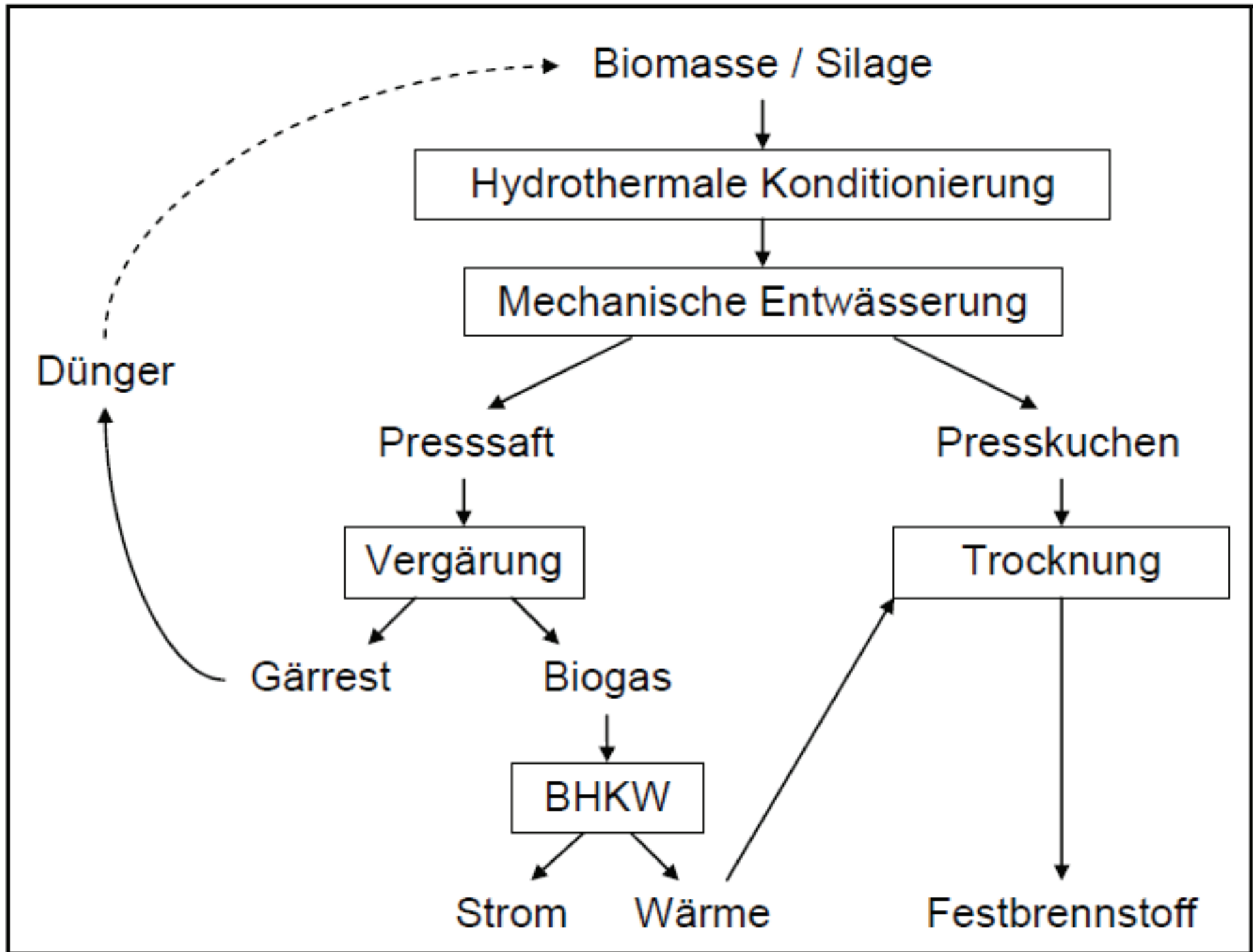
2009 08 13

## Exkurs – Biomasse an und in Füßen

- Schnitt- und Mähgut:
- hieraus:
- leicht zu Biogas vergärbarer Presssaft
- Trockensubstanz mit guter Brennstoffqualität für die Pelletproduktion







# **Aufgabenbereich Biomasse - Energiegewinnung aus Biomasse in und an Seen**

- **Ermittlung relevanter Seen - Bestimmung von ausgewählten Standorten**
- u.a. Ermittlung von Gebieten mit hohem Konfliktpotenzial (z.B. Naturschutzgebiete oder landwirtschaftlich genutzte Gebiete)
  
- **Bestimmung wesentlicher externer Einflussgrößen**
- zu den Datenpositionen zählen u.a. Beschattung der Gewässer und Gewässerränder
  
- **Ökonomische Bilanzierung**
- u.a. Flächenquantifizierung
  
- **Energetische Bilanzierung**
- u.a. Bestimmung Wassergehalt und Trockensubstanz
  
- **Aufbereitung der Biomasse**
- u.a. Kostenanalyse für technische Ausstattung und Aufbereitungsprozesse

# Aufgabenbereich

## Biogas - Energiegewinnung aus Sedimenten von Seen

- Biogas/Methan:
- Entstehung in größerem Umfang in Sümpfen, Mooren und Gewässersedimenten
- Grund: Sauerstoff hat nur begrenzt Zutritt
  
- Entstehung v.a. in Flachseen (geringe Wassertiefe):
- Sonnenlicht gelangt bis auf den Gewässergrund
- hierdurch: Ermöglichung des Wachstum von Makrophyten (Wasserpflanzen) auch am Seeboden
  
- Idee zur Nutzung von Biogas aus Sedimenten schon 1789
- Der italienische Physiker Alessandro Volta hat 1789 das brennbare Gas aus dem Sediment des Lago da Como aufgefangen.

# Aufgabenbereich

## Biogas - Energiegewinnung aus Sedimenten von Seen

- Das **Aufsteigen von Methan** ist bereits als **klimaproblematisch** erkannt worden:
- Beispiel Wohlensee (Stausee, nordwestlich der Stadt Bern)
- Fläche von 3.65 km<sup>2</sup>, maximale Tiefe von 20 Metern
- 150 Tonnen Methangas werden pro Jahr im Wohlensee produziert
- **Pro Quadratmeter: im Mittel täglich über 150 Milligramm Methan**
- **bei einer Wassertemperatur von 17 Grad verdoppelt sich die Rate**
- Daher: bei neuen Stauseen wird vor Inbetriebnahme die Vegetation im Stauseebecken entfernt
  
- Ziel:
- **1. Verwendung des Sediments in Biogasanlagen**
- keine Unterschiede zum Klärschlamm aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen
- **2. Verwendung des Methans direkt vor Ort ohne Biogasanlage**
- Abdecken des Sediments mit einer wärmedämmenden Folie
- mikrobiologischen Prozesse werden hierdurch angekurbelt
- Methan steigt in Blasen auf und könnte durch eine Öffnung in der Folie konzentriert gesammelt und durch Verbrennung verstromt werden

# **Aufgabenbereich**

## **Biogas - Energiegewinnung aus Sedimenten von Seen**

- **Messung der Sedimentschichttiefe an verschiedenen Punkten an verschiedenen Seen**
- **Bestimmung der Sedimenteigenschaften**
- **Ermittlung der potentiellen Methanausbeute**
- Bestimmung des energetischen Potentials
- Bestimmung möglicher Aufbereitungsprozesse (Reinigung, Befeuchtung, Reststoffverwertung)

# Aufgabenbereich

## Wärmepumpentechnik - Energiegewinnung aus der Wärme von Seen

- Vorteile einer Wärmepumpe in Oberflächengewässer:
- Keine (teure) Untersuchung der Erdschichten notwendig
- Keine Gefahr der Beeinträchtigung des Grundwassers
- Keine teuren Bohrungen notwendig
- Auch im Winter kann dem See Wärme entzogen werden → Anomalie des Wassers
- Unter dem Eis eines Sees beträgt die Wassertemperatur durchschnittlich 4 °C.

# Aufgabenbereich

## Wärmepumpentechnik - Energiegewinnung aus der Wärme von Seen



- Laacher See: größter Vulkansee der Vulkaneifel
- Über zwei an Bojen befestigte Rohre kommt das Seewasser aus etwa zwölf Meter Tiefe und wird in einen Brunnenschacht geleitet.
- Von dem Schacht aus wird das Wasser in den Heizungskeller des Campingplatz-Gebäudes gepumpt, dort überträgt es die Energie über einen Wärmetauscher auf das Kältemittel der Wärmepumpe.

# **Aufgabenbereich**

## **Wärmepumpentechnik - Energiegewinnung aus der Wärme von Seen**

### **1. Ermittlung relevanter Seen**

- Größe der Gewässer
- Entfernung zu potentiellen Verbrauchern
- Bestimmung des Gewässerzustandes

### **2. Bestimmung von thermischen Einflussgrößen**

- Berechnung der Durchschnittstemperatur
- Bestimmung von Verdunstungspotentialen in verschiedenen Jahreszeiten
- Bestimmung der Menge zugeführten Wassers (Niederschlag/Zuflüsse)
- Messungen zur Ermittlung, in welcher Tiefe eine hohe und auch konstante Temperatur herrscht
- Messungen zur Ermittlung der Strömungsverhältnisse im See



# **Aufgabenbereich**

## **Wärmepumpentechnik - Energiegewinnung aus der Wärme von Seen**

- **3. Wasseranalysen**
- ökologischer Zustand des Wassers – Art und Grad der Verschmutzung
  
- **4. Auswirkung Wärmepumpeneinsatz auf den See**
- Auswirkungen des Wärmeentzuges auf den See (Schichtung des Sees)
- Auswirkungen auf Flora und Fauna
- Ermittlung der Mindesttemperatur des Sees
  
- **5. Bestimmung notwendiger Wärmepumpenkapazität**
- Ermittlung der Leistung von Wärmepumpen die notwendig sind, um überschüssige Wärme bzw. Energie zu entziehen.
- Positionierung der Wärmepumpen (Abstand zueinander, Beachtung Strömungsverhältnisse)
- Ermittlung des Standes der Technik von Wärmepumpen im Medium Wasser
- Bestimmung des energetischen Potential eines Sees

# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- Einführung:
- Limnologie:
  - in der Regel **weder oberflächliche Zuflüsse noch Abflüsse**
  - der Wasserkörper korrespondiert mit dem Grundwasser
  - Innerhalb weniger Jahre → **biogene Ablagerungen**
  - der Wasserkörper führt dann ein limnologisches Eigenleben → **Nährstoff-Falle → rasche Eutrophierung**
  - **Sanierung nur in Ausnahmefällen möglich** (durch Konstruktion eines Ablaufs bei ggf. vorhandenem abschüssigen Gelände)
- Restseen des **Braunkohle-Tagebaus**:
  - häufig ungewöhnlich **hoher Gehalt an Schwefelsäure**
  - Anschluss an öffentlichen Gewässer ausgeschlossen
  - **solche Seen sind weder für Aquakulturen noch für Menschen geeignet**

## Aufgabenbereich

### Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

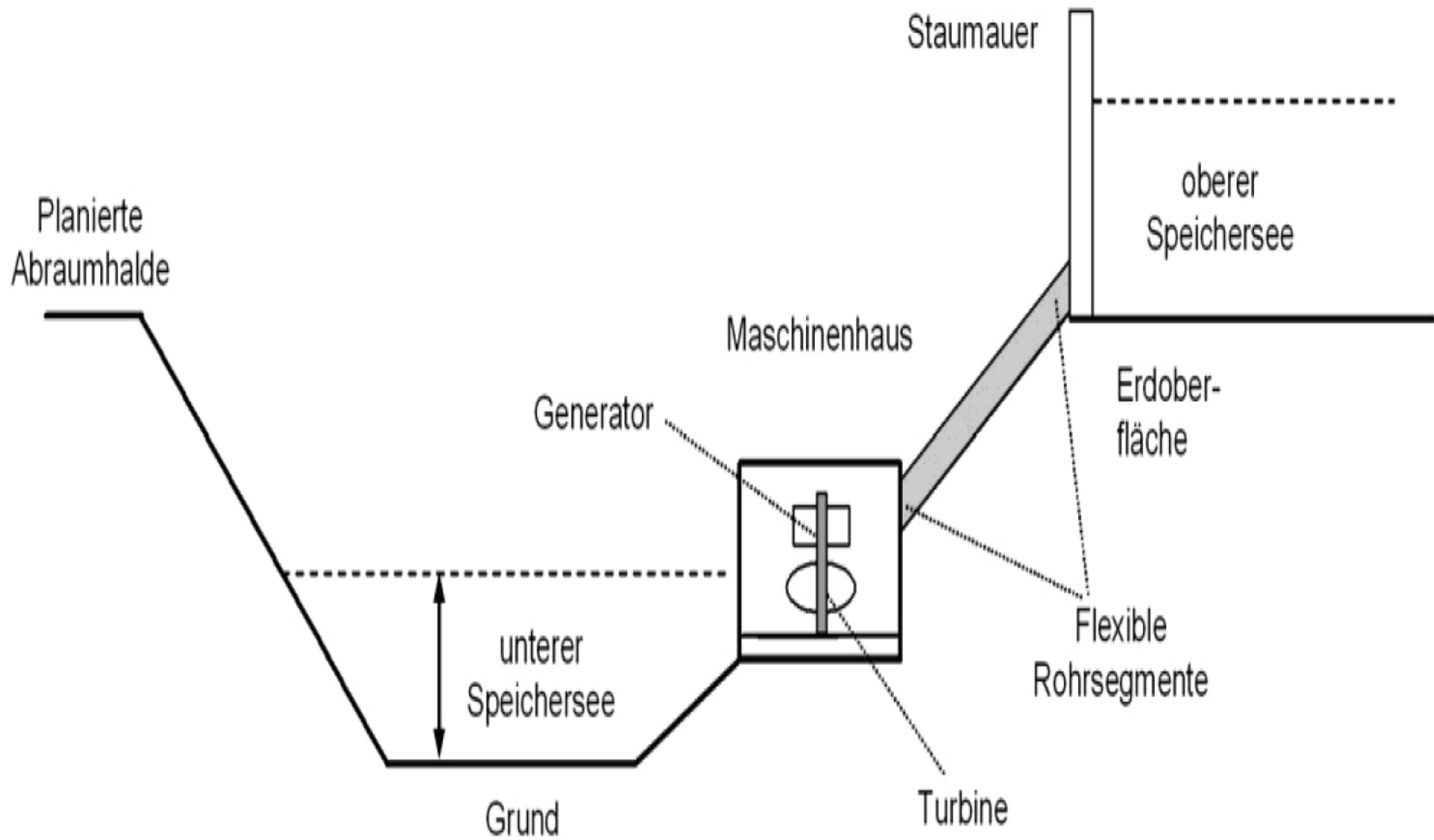
- ein schwerwiegender Eingriff mangels Existenz von schützenswerter Natur scheidet von vornherein aus
- Durchschnittlich eine Ausdehnung zwischen etwa 50 und 300 Meter von Kiestagebaue
- Abbautiefe von einigen Metern bis zu fast 50 m
- Gruben bzw. Seen weisen im Regelfall steile Hänge und Abbruchkanten auf → das Wasser kann so schnell und tief fallen
- weitere Besonderheit: Baggerseen und Gruben liegen oft dicht beieinander
- dicht beieinanderliegende Gruben stellen das Ober- bzw. Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerkes dar
- Vorteil des dicht Beieinanderliegens: der horizontale Pumpweg verringert sich

# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- erste Überlegungen in der Lausitz (Amt Kleine Elster - Umfeld der F60 am Bergheider See) zur Errichtung eines **Hybridkraftwerkes**
- Regulierungsmöglichkeiten durch Einsatz von **Windkraft, Sonnenenergie, Biogas und Pumpenspeicherbecken**





# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- **Ermittlung von Baggerseen und Abbaugruben und Eignung von Baggerseen und Abbaugruben aus ökologischer Sicht**
- **Kartierung** von unbefüllten und befüllten Tagebaurestseen und Abbaugruben (**Fläche, Tiefe, Volumen, Entfernung zum nächstgelegenen befüllten oder unbefüllten Tagebaurestseen bzw. Tagebauen und Abbaugruben**)
- **Bestimmung des ökologischen Ist-Zustandes** von befüllten Tagebaurestseen und Abbaugruben
- **Bestimmung des zu erwartenden ökologischen Zustandes** von unbefüllten Tagebaurestseen und Abbaugruben
- **Erstellung einer Klassifizierung** von befüllten und unbefüllten Tagebaurestseen bzw. Tagebauen und Abbaugruben hinsichtlich ihrer ökologischen Eignung als Pumpspeicher und Wärmespeicher

# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- Ermittlung der Eignung von Baggerseen und Abbaugruben aus **energetischer Sicht**
- Ermittlung von **Höhenunterschieden der Böden** von nahegelegenen befüllten und unbefüllten Baggerseen und Abbaugruben
- Ermittlung von **Höhenunterschieden des Wasserspiegels** von nahegelegenen befüllten Baggerseen und Abbaugruben
- **Ermittlung des Grundwasserzugangs** von unbefüllten Baggerseen und Abbaugruben
- Ermittlung des **Verhältnisses von Volumen und Oberfläche**
- **Erstellung einer Klassifizierung** von befüllten und unbefüllten Tagebaurestseen bzw. Tagebauen und Abbaugruben hinsichtlich ihrer energetischen Eignung als Pumpspeicher und Wärmespeicher

# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- **Bestimmung umliegenden Infrastruktur**
- Ermittlung von bestehenden Produzenten erneuerbarer Energie
- Ermittlung von potentiellen Standorten zur Produktion erneuerbarer Energie
- Bestimmung der **Entfernung zu potentiellen Stromabnehmern**
- Bestimmung der **Entfernung zum Stromnetz**
- **Erstellung einer Klassifizierung** von befüllten und unbefüllten Tagebaurestseen bzw. Tagebauen und Abbaugruben hinsichtlich ihrer infrastrukturellen Eignung als Pumpspeicher und Wärmespeicher



# Aufgabenbereich

## Energiespeicherung in Baggerseen bzw. Abbaugruben

- **Erstellung einer Gesamtklassifizierung**
- Erstellung einer **Gesamtklassifizierung** von befüllten und unbefüllten Tagebaurestseen bzw. Tagebauen und Abbaugruben als Pumpspeicher und Wärmespeicher hinsichtlich ihrer
  - **ökologischen,**
  - **energetischen und**
  - **infrastrukturellen Eignung**