



Schweizerische
Gesellschaft für
Höhlenforschung (SGH)



Schweizerisches
Institut für Speläologie
und Karstforschung

sc | nat

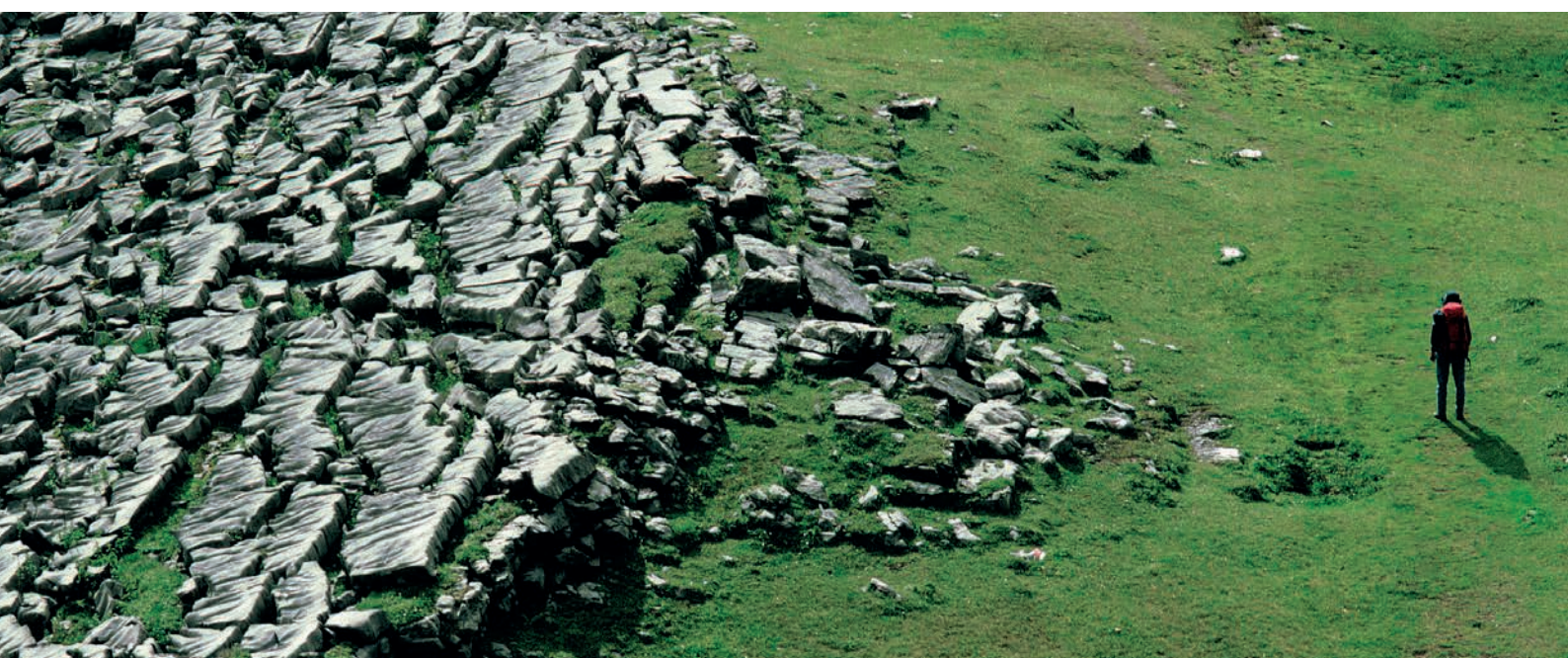
Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

Kommission für
wissenschaftliche
Speläologie

Windenergieanlagen in Karstgebieten

Risiken, Auswirkungen, Ratschläge und Massnahmen

Merkblatt



Karstgebiete weisen spezielle geologische und hydrogeologische Eigenheiten auf, die es zu berücksichtigen gilt, wenn unliebsame Überraschungen bei Bauprojekten oder im Rahmen von Trinkwassernutzungen vermieden werden sollen. Dies gilt auch für Projekte zum Bau von Windenergieanlagen.

Neben der Frage möglicher Auswirkungen auf Tiere und Landschaft sollte im Rahmen von Projekten zur Errichtung von Windparks stets auch die Beschaffenheit des Untergrunds berücksichtigt werden.

Dieses Kriterium ist gerade im Fall von Karstgebieten keinesfalls vernachlässigbar.

Karstlandschaften und Windenergieanlagen sind nicht unvereinbar, aber es bestehen spezifische, an Karst gebundene Risiken. Diese Risiken betreffen nicht nur allfällige Beeinträchtigungen von Umwelt und Grundwasser, sondern auch die Stabilität der Anlagen selber. Karst ist nämlich stark zerklüftet und enthält zahlreiche, versteckte Hohlräume. Dem ist wohl besser Rechnung zu tragen, bevor ein Fundament für eine Anlage erstellt wird ...

Was ist Karst?

Karstgebiete bedecken etwa 20 % der Schweiz, sie liegen hauptsächlich im Jura und in den Voralpen. Karst bezeichnet eine oberirdische und unterirdische Landschaftsform, die durch Lösung von Gesteinen – meist Kalkstein – entstanden ist und eine charakteristische Hydrologie aufweist. Dafür typische Geländeformen sind beispielsweise Dolinen, Karren, Trockentäler und Höhlen (Abb. S. 3). Hydrologische Merkmale sind das weitgehende Fehlen von Oberflächengewässern, konzentrierte unterirdische Fliessgewässer (u.a. Höhlenflüsse), geschlossene Senken, imposante Bachschwinden, grosse Karstquellen und hohe Fliessgeschwindigkeiten im Untergrund.



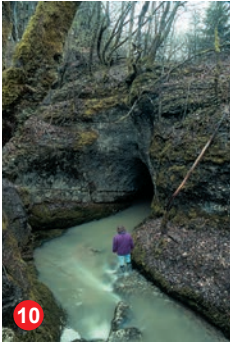
Sind Karstgebiete für Windenergieanlagen geeignet?

Aufgrund der windexponierten Lage befinden sich die meisten der für Windenergieanlagen geeigneten Standorte im Bereich von Kreten, welche häufig aus „härteren“ Gesteinen bestehen. Im Jura und in den Voralpen sind dies mehrheitlich Kalkformationen. Ein grosser Teil von geplanten (und auch von bereits realisierten) Windenergieanlagen liegt daher in Karstgebieten.

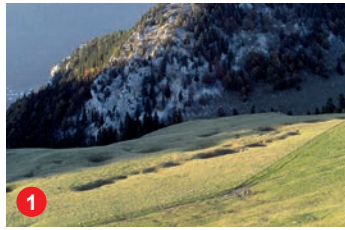
Wie alle Bauvorhaben können auch Windenergieanlagen und dazu gehörende Einrichtungen (Zufahrtswege, Stromleitungen etc.) Höhlen und Karst beeinträchtigen. Weiter stellen solche Hohlräume selber auch eine Gefahr für die Windenergieanlagen dar (Bodeninstabilitäten). Meist können Auswirkungen beider Art jedoch durch eine gezielte Standortwahl und geeignete Massnahmen auf ein akzeptables Mass reduziert werden. Grundsätzlich besteht also kein zwingender Widerspruch zwischen der Windenergienutzung und dem Höhlen- und Karstschutz, grundsätzliche und regionale Eigenheiten des Karst sollten jedoch bereits bei der Festlegung von Anlagenstandorten berücksichtigt werden.

Karstgebiete bedecken etwa 20 % der Schweiz (gelb). Sie befinden sich hauptsächlich im Jura und in den Voralpen.

Die Karstlandschaft an der Oberfläche und im Untergrund



Schwinde / Ponor



Doline



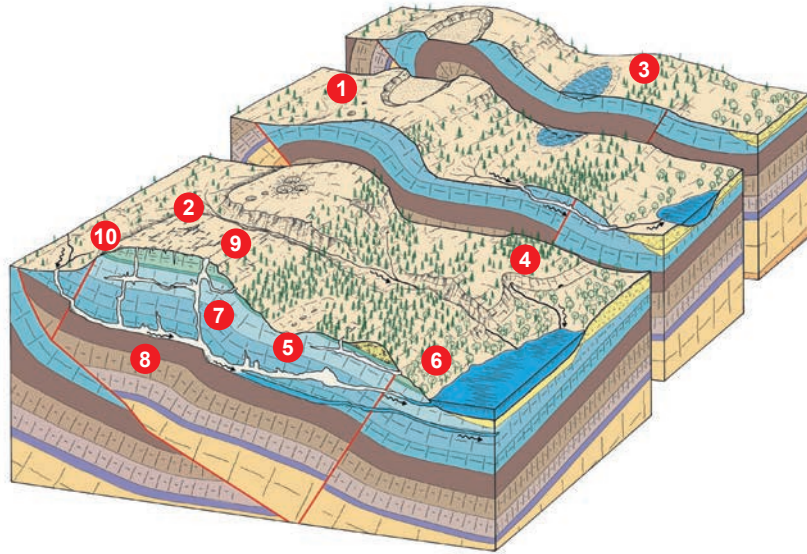
Karren



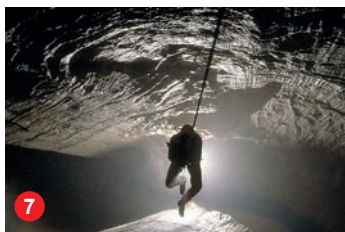
Polje



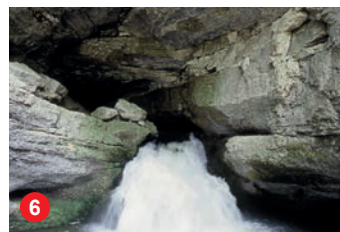
Schächte



Unterirdischer Fluss



Höhlen



Karstquelle



Typische Karstlandschaft mit fehlender Vegetationsdecke. Der Fels ist stark zerklüftet und das Regenwasser dringt direkt in den Boden ein.



Foto: sp

Windpark im Kalkgebiet.

Welche Grundlagen zu Windenergieanlagen im Karst gibt es?

Der Karst wird mit Ausnahme der Praxishilfe EPIK (Methode zur Ausscheidung von Grundwasserschutz-zonen im Karst) in den Empfehlungen des Bundesamts für Umwelt BAFU und der Kantone nur sehr marginal behandelt. Die Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung SSS/SGH hat daher zusammen mit der Kommission für wissenschaftliche Speläologie der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften ScNat eine *Wegleitung zur Beurteilung von Projekten in Karstgebieten** herausgegeben. Sie hat zum Zweck, dass die Eigenheiten des Karstes bei der Planung und Ausführung von Projekten besser berücksichtigt werden, indem das karstspezifische Wissen besser zugänglich gemacht wird.



Foto RW / SSKA

Anstehender zerklüfteter Fels.

Welchen Einfluss haben Windenergieanlagen auf die Karstlandschaft?

Karstlandschaften weisen die bereits erwähnten charakteristischen Geländeformen auf, wie z.B. Dolinen, Karrenfelder oder Trockentäler. Neben ihrer Rolle als **landschaftsbildende Elemente** kommt diesen Strukturen häufig auch eine **hydrologische Bedeutung** als bevorzugte Infiltrationspunkte zu. Durch die grossflächigen Bodenveränderungen beim Bau von Windenergieanlagen, insbesondere für die Montageplätze und die Erschliessung, können beide Funktionen stark beeinträchtigt werden.

Der visuelle Einfluss von Masten und Rotoren wird in der einschlägigen Literatur ausführlich behandelt und weist kaum direkt karstspezifische Elemente auf. Besonders anstehender Fels ist jedoch häufig ein Aspekt bildendes und landschaftsprägendes Element, dessen Wiederherstellung kaum möglich ist. Deshalb müssen die Auswirkungen geplanter Eingriffe auf den Gesamtwert einer Karstlandschaft (insbesondere bei Lage im Bereich inventarisierter Objekte) sorgfältig geprüft werden.

* «Wegleitung zur Beurteilung von Projekten in Karstgebieten»; verfügbar unter www.speleo.ch

Welche Einfluss haben Windenergieanlagen auf Höhlen?

Höhlen können beim Bau von Windenergieanlagen bis zu einer seitlichen Entfernung von ungefähr 50 Metern in erster Linie durch folgende Aktivitäten und Immissionen beeinträchtigt werden:

- ▶ Das Anschneiden des Hohlraums während des Aushubs und die darauf folgende Stabilisierung des Untergrundes (Zerstörung des Hohlraums, Verfüllung, Betonierarbeiten); die Risiken sind: **Höhlenverschluss, Einsturz** etc;
- ▶ Eine andauernde Veränderung des **Höhlenklimas** nach Anschneiden von Hohlräumen durch Wechsel in den Strömungsverhältnissen der Luft;
- ▶ Erschütterungen, welche zum Einsturz von Hohlräumen und zum **Bruch von Tropfsteinen** führen können;
- ▶ Den Eintrag von Sedimenten und Nährstoffen als Folge von Bodenerosion, welche zur Veränderung der **Artenzusammensetzung**, zur **Verschmutzung** von Tropfsteinen und zu Beeinträchtigungen der **Grundwasserqualität** führen kann.

Dabei sind je nach Situation folgende Schutzgüter betroffen:

- ▶ Die **Höhle als Geotop**: Die Gangformen und der Inhalt der Gänge (Sedimente, Tropfsteine) sind Zeugen der Erdgeschichte und Teil einer unterirdischen Landschaft (Geotope/Naturdenkmäler);
- ▶ Die Höhle als **Biotop**: Höhlen sind Lebensräume für seltene und gefährdete Arten. Ein spezielles Augenmerk gilt dabei den Fledermäusen und troglodytischen wirbellosen Tieren. Die troglodytische Fauna, d.h. die ausschliesslich höhlenbewohnende Tierwelt, ist an den äusserst nährstoffarmen Lebensraum ohne Licht perfekt angepasst und reagiert häufig empfindlich auf Veränderungen des Nährstoffhaushaltes und des Höhlenklimas. Die Erweiterung, Öffnung oder aber auch der Verschluss eines Höhleneingangs kann das – meist äusserst stabile – Höhlenklima stark beeinträchtigen, so dass die Höhle als Lebensraum für gewisse Arten nicht mehr geeignet ist.
- ▶ Die Höhlen als **archäologische und paläontologische Fundstätte**: Aufgrund des konstanten Höhlenklimas sowie des Schutzes vor Erosion und anderer Beeinträchtigungen werden Knochen und Zeugnisse der Entwicklung des

Menschen und der Fauna häufig gut erhalten. Dies gilt auch für Sedimentansammlungen in Dolinen;

- ▶ Die Höhle als Teil eines **Grundwassersystems** (siehe Folgeseite).

Beim Bau von Windenergieanlagen dürfte üblicherweise die Problematik des grossflächigen Bodenabtrags und des damit verbundenen Sediment- und Nährstoffeintrags am Stärksten ins Gewicht fallen, es sei denn, bedeutende und/oder reich mit Tropfsteinen geschmückte Höhlen liegen im engeren Projektperimeter.

Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass nur ein kleiner Teil der Karsthohlräume für den Menschen zugänglich sind, und auch nicht alle zugänglichen Höhlen bekannt, erforscht und dokumentiert sind. Die Tatsache, dass in einem Projektperimeter keine Höhlen bekannt sind, stellt daher keine Garantie dar, dass bei Bauarbeiten keine Höhle betroffen sein wird.



Foto Suisse Éole



Foto Suisse Éole

Bau des Fundaments einer Windkraftanlage auf einer Kalkschicht.



Im Karst fliesst das Wasser durch den Fels hindurch.



Karstquelle.

Foto: RW / SISK A

Welchen Einfluss haben Windenergieanlagen auf das Grundwasser?

Die hohe Qualität des Grundwassers in der Schweiz stellt ein enormes Volksvermögen dar, das mit vorsorglichen Schutzmassnahmen langfristig zu erhalten ist. Aufgrund der direkten Verbindung der Oberfläche mit dem Grundwasser durch Karströhren ist die Gefahr einer Beeinträchtigung stark erhöht. Denn meist ist das Zeitfenster für eine Intervention nach einem Zwischenfall klein. Grundsätzlich sind folgende Immissionen besonders relevant:

- ▶ Sediment- & Nährstoffeintrag infolge Bodenerosion;
- ▶ gewässergefährdende Substanzen (insbesondere Treibstoffe und Maschinenöle);
- ▶ alkalisches Wasser (im Zusammenhang mit Betonierarbeiten)..

Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass bei sehr effizienten und grossräumigen unterirdischen Entwässerungsnetzen auch weit entfernte Quellen beeinträchtigt werden können.

Welche Gefahren birgt der Karst für Windenergieanlagen?

Hohlräume können ein Bauvorhaben ebenso gefährden, wie das Bauvorhaben eine Höhle. Bei Windenergieanlagen, ist dies besonders relevant, da diese über ein solides Fundament verfügen müssen. Unentdeckte Hohlräume können unter der zusätzlichen Belastung (Last und/oder Erschütterungen) einstürzen und so ein Fundament beschädigen oder die Fundationswirkung einschränken.

Weiter hat sich gezeigt, dass die künstliche Infiltration von (Baustellen)-Wasser die Gefahr von Dolinenbildung und Instabilitäten stark beeinflusst. Es muss grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass sich im Umkreis von 50-100 m um einen Punkt mit künstlicher Infiltration neue Dolinen bilden, bestehende aktiviert werden oder dass es zu Setzungen/Rutschungen kommen kann.



Beispiel einer unvermittelt aufgetretenen Sackung in einem Karstgebiet.

Foto: RW / SISK A

Welche Massnahmen sollten ergriffen werden?

Bei allen neuen Windenergieprojekten sollte Karst bereits in die Vorabklärungen einbezogen werden. Dabei können sowohl die Aspekte des Höhlen- und Karstschutzes wie auch die Fragen der Baugrundstabilität im Karst mit einbezogen werden, was insbesondere für die Standortwahl relevant ist. Massnahmen müssen den lokalen Gegebenheiten gerecht werden. Dabei kommen insbesondere folgende Massnahmen in Frage:

• **Bezüglich des Höhlen- und Karstlandschaftsschutzes:**

- ▶ Konsultation der Geotopinventare [Inventar der ScNat (map.admin.ch -> *Natur und Umwelt > Geologie* -> *Geotope der Schweiz*), kantonale und kommunale Inventare];
- ▶ Abklären, ob Höhlen in der Umgebung bekannt sind (Höhrendatenbank der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung);
- ▶ Erstellen eines Inventars der Karstobjekte wie Höhlen, Dolinen, Ponore, Karstquellen, Karrenfelder (sofern nicht bereits Karstkarten vorliegen);
- ▶ Falls im Rahmen des Inventars der Karstobjekte bedeutende Objekte gefunden werden, sind die Auswirkungen auf diese zu beurteilen;
- ▶ Beschränkung der Bodenveränderungen auf das strikt Notwendige (und bei Eingriffen zumindest Geotextilien auslegen oder Bodenteile abdecken, welche für später erhalten werden können);
- ▶ Werden Hohlräume angeschnitten, sollten diese angemessen erkundet und dokumentiert werden (Beizug von Höhlenforschern und/oder Karstspezialisten).

• **Bezüglich des Grundwasserschutzes**

- ▶ Sorgfältige Untersuchung des hydrogeologischen Kontextes (Untersuchungssperimeter, der alle potenziell beeinträchtigten Quellen einschliesst; im Karst z.T. mehrere km entfernt); die KARSYS-Dokumentation (siehe www.swisskarst.ch) kann dabei wertvolle Hinweise liefern;
- ▶ Überprüfung der ausgeschiedenen Grundwasserschutzzonen;



Foto RW / SISKKA

Tagbruch in mitten einer Wiese.

- ▶ räumliche und zeitliche Beschränkung der Bodenveränderung auf das strikt Notwendige sowie Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse (z.B. keine grossflächigen offenliegende Flächen in Zeiten zu erwartender Starkniederschläge);
- ▶ Berücksichtigung der erhöhten Vulnerabilität des Karstgrundwassers im Materialbewirtschaftungskonzept und im Alarm- und Massnahmenplan:
 - Vermeidung der Bodenerosion respektive des Sedimenteintrags in den Untergrund;
 - Angemessene Behandlung des Baustellenwassers: Insbesondere muss beachtet werden, dass die Filterkapazität des Bodens im Karst meist ungenügend ist und alkalisches Wasser aus dem Beton behandelt werden sollte;
 - Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalls mit wassergefährdenden Substanzen, z.B. durch die Meidung besonders empfindlicher Zonen oder den Einsatz neuer Baumaschinen;
 - Reduktion der allfälligen Folgen eines Zwischenfalls durch gezielte Massnahmen, z.B. durch den Einsatz biologisch abbaubarer Öle, kleineren (gleichzeitig) eingesetzten Mengen schädlicher Stoffe, abgedichteter Parkplätze oder einem geeigneten Einsatzdispositiv (ölbindende Materialien vor Ort, etc.);



Foto RW/SISKA

Bildung von Dolinen: Karst entwickelt sich stetig weiter.

- ▶ Sicherstellen, dass bei der Hinterfüllung eines Hohlraums der Beton nicht weiter ins Karstsystem eindringen kann (d.h. Hohlräume müssen vor einer Hinterfüllung angemessen erkundet werden).
- **Bezüglich der karst-spezifischen Gefahren für das Bauwerk**
 - ▶ Berücksichtigung des Karstes bei der Standortwahl;
 - ▶ Erstellen eines Inventars der Karstobjekte wie Höhlen, Dolinen, Ponore, Karstquellen, Karrenfelder (Untersuchungssperimeter: mind. 500 m Umkreis um Standorte, auszubauende Erschliessungsstrassen und andere Einrichtungen wie bodenverlegte Stromleitungen);
 - ▶ Baugrunduntersuchung mithilfe von geophysikalischen Methoden (z.B. Georadar und/oder geoelektrische Tomographie) unter Einbezug des Inventars der Karstobjekte, Sondierbohrungen unter Grundplatte und Mast an den vorgesehenen Standorten;
 - ▶ Bei Bedarf können, aufgrund geologischer, geomorphologischer (Dolinen,...) und speläologischer (d. h. Höhlen-) Daten, Zonen mit unterschiedlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten für unterirdische Hohlräume ausgeschieden werden (Methode KarstALEA). Dies wird insbesondere in Gebieten mit vielen Dolinen sehr empfohlen;
 - ▶ Die Entwässerung der Baustelle und anschliessend der Anlage muss der Instabilitätsproblematik gerecht werden.

Schlussfolgerung

Der Kalk bildet den Hauptbestandteil des Gesteins in Karstgebieten (20% der schweizerischen Landesfläche). Er enthält eine grosse Anzahl an Rissen und natürlichen Hohlräumen. Das Erstellen von Windenergieanlagen in solchen Gebieten erfordert grosse Vorsicht und genaue Kenntnisse der Natur des Untergrunds, denn das Risiko von Instabilitäten beim Bau von Fundamenten für Windkraftanlagen kann nicht ausgeschlossen werden. Mögliche Auswirkungen der Erstellung von Windenergieanlagen auf den Karst müssen auch berücksichtigt werden. Es sind verschiedene Beeinträchtigungen möglich: Störung der Grundwasserfließwege, Zerstörung schutzwürdiger Höhlen, Belastung von Fauna und/oder Konkretionen im Untergrund.

Aus diesen unterschiedlichen Gründen wird Projektinitianten und Planern empfohlen, den Aspekt «Karst» von Beginn an in ihr Projekt einzubeziehen.

Kontakt für technische Fragen

Das Schweizerische Institut für Speläologie und Karstforschung (SISKA) beantwortet gerne Fragen von Initianten und Verwaltungsstellen, welche sich mit Projekten zur Erstellung von Windenergieanlagen befassen.

Das SISKA gewährleistet zudem den Kontakt zu den regionalen Verantwortlichen der Höhlenschutzkommission der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung.

Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung

Rue de la Serre 68
2301 La Chaux-de-Fonds
Tel.: 032 913 35 33
info@isska.ch
www.isska.ch