

Bundesamt für Energie, Kanton Thurgau
Bern, Frauenfeld

Untersuchung der Preiswirkung von Windenergieanlagen auf Einfamilienhäuser

Synthesebericht

Zürich, 11. Oktober 2019



| | |
|-------------------------------|--|
| Projektnummer | 109482 |
| Auftraggeber | Bundesamt für Energie BFE Sektion Erneuerbare Energien Mühlestrasse 4 3063 Ittigen Kanton Thurgau Abteilung Energie Promenadenstrasse 8 8510 Frauenfeld |
| Kontaktpersonen | Markus Geissmann Thomas Volken |
| Bearbeitung | Wüest Partner AG Alte Börse Bleicherweg 5 8001 Zürich Schweiz T +41 44 289 90 00 wuestpartner.com |
| Projektleitung Bearbeitung | Ronny Haase Jacqueline Schweizer Thomas Wider |
| Zeitraum | August bis Dezember 2018 |

Wüest Partner ist ein unabhängiges und inhabergeführtes Beratungsunternehmen. Seit 1985 schaffen wir als neutrale Experten erstklassige Entscheidungsgrundlagen für professionelle Immobilienakteure. Mit einem breiten Leistungsangebot – bestehend aus Beratung, Bewertung, Daten, Applikationen und Publikationen – begleiten wir unsere Kunden im In- und Ausland. Unser Wissen schafft Transparenz und ebnet neue Wege für die Weiterentwicklung der Immobilienwirtschaft.

Mit einem rund 200-köpfigen, interdisziplinären Beraterteam verfügt das Unternehmen über eine hohe Kompetenz und langjährige Erfahrung. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stammen aus den Disziplinen Ökonomie, Architektur, Informatik, Ingenieurwesen sowie Sozial- und Naturwissenschaften. Die in Zürich, Genf, Bern, Lugano, Frankfurt am Main, Berlin, Hamburg und München stationierten Beraterteams werden von einem internationalen Netzwerk von Partnerfirmen und regional gut verankerten Fachpersonen ergänzt.

Für Kontinuität, Nachhaltigkeit und Unabhängigkeit der Unternehmensleistungen bürgen die achtzehn Partner, die zugleich Eigentümer der Wüest Partner AG sind: Andreas Ammann, Marcel Scherrer, Marco Feusi, Andreas Bleisch, Jan Bärthel, Patrick Schnorf, Mario Grubenmann, Patrik Schmid, Gino Fiorentin, Stefan Meier, Hervé Froidevaux, Ronny Haase, Pascal Marazzi-de Lima, Andreas Keller, Karsten Jungk, Ivan Anton, Fabio Guerra und Alain Chaney.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Schlussfolgerungen der Auftraggeber | 4 |
| | Management Summary (DE) | 6 |
| | Management Summary (FR) | 7 |
| 1 | Ausgangslage und Zielsetzung | 8 |
| 1.1 | Ausgangslage | 8 |
| 1.2 | Vorabklärungen | 9 |
| 1.3 | Zielsetzung | 10 |
| 1.4 | Vorgehen | 10 |
| 2 | Methodik | 11 |
| 2.1 | Hedonische Methode | 11 |
| 2.2 | Stand der Forschung | 12 |
| 3 | Datengrundlage | 13 |
| 3.1 | Beschreibung der Stichprobe | 13 |
| 3.2 | Daten der Windenergieanlagen | 15 |
| 3.3 | Sichtbarkeitsanalyse | 17 |
| 3.4 | Deskriptive Analyse der Windenergieanlagen | 18 |
| 4 | Preismodell | 23 |
| 4.1 | Modellspezifikation | 23 |
| 4.1.1 | Spezifikation der Variablen | 23 |
| 4.1.2 | Spezifikation der Regressionsmodelle | 25 |
| 4.2 | Modellresultate | 25 |
| 5 | Fazit | 27 |
| 6 | Literatur | 30 |

Schlussfolgerungen der Auftraggeber

Die vorliegende Studie zur möglichen Wirkung von Windenergieanlagen auf Transaktionspreise von Einfamilienhäusern kommt zum Schluss, dass keine eindeutigen und statistisch signifikanten Effekte festgestellt werden können.

Aufgrund der unten stehenden Erwägungen ziehen die Auftraggeber daraus jedoch den Umkehrschluss, dass, falls deutliche Wertminderungen von Immobilien in der Nähe von Windenergieanlagen oder geplanten Anlagen in der Realität beobachtet werden könnten, sich diese in den gewählten Modellen zeigen müssten, und zwar statistisch signifikant. Die Auftraggeber gehen deshalb davon aus, dass sich aufgrund des heutigen Kenntnisstandes wissenschaftlich keine deutlichen Wertminderungen bei Immobilien in Windparknähe feststellen lassen. Sollte sich in den nächsten Jahren die Datenlage deutlich verbessern, d.h. es stehen deutlich mehr Anlagen in Betrieb, regen die Auftraggeber an, die Untersuchung zu wiederholen.

Die folgenden Erwägungen haben zu diesen Schlussfolgerungen geführt:

- Mit dem Auftrag an Wüest Partner hat der Auftraggeber den zurzeit fachlich ausgewiesenen Auftragnehmer ausgewählt, und zwar in Bezug auf die Anzahl und Zuverlässigkeit der Transaktionsdaten (Eigentümerwechsel bei Einfamilienhäusern) als auch in Bezug auf das Know-how für die Modellbildung und die statistische Auswertung.
- In die Analyse wurden die 37 in Betrieb stehenden Windenergieanlagen und 179 sich in Planung befindende Anlagen aufgenommen. In Planung bedeutet, dass diese Projekte bereits in der Öffentlichkeit vorgestellt wurden, damit bekannt sind, und das Einverständnis des Projektanten zur Verwendung gewisser Daten (Standorte, Abmessungen) vorliegt.
- Die Auftraggeber sind überzeugt, dass Auswirkungen auf Immobilienpreise – falls sie vorhanden sind – bereits in der Planungsphase, d.h., ab öffentlicher Bekanntmachung des Projekts, auftreten müssten. In dieser Phase herrscht die grösste Unsicherheit. Dabei genügt die Kenntnis, dass ein Projekt in der Gemeinde x oder im Gebiet y geplant ist. Genaue Standorte der Windenergieanlagen und allfällige Auswirkungen sind für die Wahrnehmung in diesem Stadium noch nicht relevant.
- Ebenso sind die Auftraggeber überzeugt, dass der gewählte maximale Radius von 10 km richtig ist und die tatsächliche Sichtbarkeit für Projekte in Planung nicht relevant ist. Insbesondere spielen die Windenergiegebiete, welche sich häufig in peripheren, exponierten und wenig besiedelten Gegenden befinden, in Bezug auf die Naherholung (Spazieren, sportliche Aktivitäten etc.) eine wichtige Rolle, weshalb die gewählte Distanz von 10 km richtig ist.
- Die Anzahl realisierter und in Planung stehenden Windenergieanlagen von 200 kann für die Schweiz als hoch eingestuft werden. Gemäss den Zielen der Energiestrategie 2050 des Bundes wird der Windenergie in der Schweiz ein realisierbares Potenzial von rund 4.3 TWh attestiert. Dies entspricht der Jahresproduktion von rund 600 modernen Windenergieanlagen. Die 200 in der Studie



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie

Thurgau



Abteilung Energie

berücksichtigten Anlagen entsprechen somit einem Drittel des Ausbauziels bis 2050.

- Für den beobachteten Zeitraum steht ein Sample von über 65'000 Transaktionen zur Verfügung. Innerhalb eines 10-Kilometer-Radius um bestehende oder geplante Windenergieanlagen befinden sich fast 10 Prozent dieser Transaktionen.
- Sowohl was die Anzahl Windparkprojekte betrifft als auch die Anzahl Transaktionen beurteilen die Auftraggeber die Datenlagen deshalb als gut, bzw. wird der Zeitpunkt als richtig eingestuft, Auswirkungen auf Immobilienpreise zu untersuchen.

11. Oktober 2019, Bern, Frauenfeld

Bundesamt für Energie, Markus Geissmann
Kanton Thurgau, Abteilung Energie, Thomas Volken

Management Summary (DE)

Ausgangslage und Zielsetzung

Gemäss der Energiestrategie 2050 des Bundes soll die Windenergie einen signifikanten Anteil der zukünftigen Stromversorgung aus erneuerbaren, lokal vorhandenen Energiequellen darstellen. Windenergieprojekte stossen jedoch oft auf Widerstand in der Bevölkerung. Einer der Gründe ist die Angst vor Wertverlust der Immobilien.

In der Schweiz wurde der Effekt von Windenergieanlagen auf den Preis von Immobilien bisher nicht umfassend untersucht. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) und des Kantons Thurgau (Abteilung Energie) hat Wüest Partner die Preiswirkung von Windenergieanlagen auf Transaktionspreise von Einfamilienhäusern untersucht. Ziel war die Untersuchung der monetären Auswirkungen von Windenergieanlagen auf den Immobilienmarkt und falls möglich, die Ausarbeitung eines robusten statistischen Modelles zur Abschätzung der damit verbunden Preiseffekte.

Methodik

Ein allfälliger Effekt von Windenergieanlagen auf die Preise von Einfamilienhäusern wird mit einem GIS-basierten, hedonischen Modell untersucht. Dabei fließen Eigenschaften des Immobilienobjekts, der gross- und kleinräumigen Lage und durch Windenergieanlagen bedingte Gegebenheiten ein. Die Beeinflussung wird dabei primär durch die räumliche Distanz zwischen dem Standort einer Transaktion und der nächsten Windenergieanlage abgebildet und ist auf den jeweiligen Betrachtungsperimeter um die Windenergieanlagen beschränkt. Zudem werden die Zeiträume der Planungs- und Betriebsphase der Anlagen sowie die Sichtbarkeit berücksichtigt.

Datengrundlage

Rund 65'000 räumlich verortete Transaktionen von Einfamilienhäusern der Jahre 2000 bis 2018 bilden die Grundlage der Untersuchung. Die Standorte von 216 Windenergieanlagen, davon 37 in Betrieb und 179 geplant, dienen zur Untersuchung der Preiswirkung. Für jede Transaktion werden die Objekteigenschaften, die klein- und grossräumigen Lagequalitäten sowie die räumliche und zeitliche Beeinflussung durch Windenergieanlagen bestimmt. Diese Eigenschaften fließen zusammen mit dem gehandelten Kaufpreis in die Bewertungsmodelle ein.

Ergebnis und Fazit

Die Untersuchung der Preiswirkung liefert keine eindeutigen und statistisch verlässlichen Ergebnisse. Keines der geprüften Modelle kann die Variabilität in den Preisen besser erklären als das Grundmodell (ohne Einbezug der Windenergieanlagen). Die verschiedenen Modelle sind nicht stabil und liefern teilweise unplausible Resultate. Ein robustes Minderwertmodell lässt sich daraus nicht ableiten. Die Wirkung von Windenergieanlagen auf die Preise von Einfamilienhäusern kann in dieser Untersuchung deshalb empirisch weder widerlegt noch nachgewiesen werden. Die zur Verfügung stehende Stichprobe der Transaktionen ist entweder bezüglich der Stichprobengrösse oder der Allokation der Objekte in Bezug auf Windenergieanlagen zu wenig repräsentativ, um daraus einen durch Windenergieanlagen bewirkten Effekt auf Kaufpreise von Einfamilienhäusern nachweisen zu können.

Management Summary (FR)

Situation initiale et objectif

Selon la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération, l'énergie éolienne devrait représenter une part importante de l'approvisionnement futur en électricité à partir de sources d'énergie locales et renouvelables. Cependant, les projets d'énergie éolienne se heurtent souvent à la résistance de la population. L'une des raisons en est la crainte d'une perte de valeur de l'immobilier.

En Suisse, l'effet des installations éoliennes sur le prix de l'immobilier n'a pas encore été étudié de manière approfondie. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et du canton de Thurgovie (service de l'énergie), Wüest Partner a étudié l'effet des installations éoliennes sur les prix des transactions des maisons individuelles. L'objectif était d'étudier les effets monétaires des installations éoliennes sur le marché immobilier et, si possible, de développer un modèle statistique robuste pour estimer les effets de prix qui leur sont associés.

Méthodologie

L'effet possible des installations éoliennes sur le prix des maisons individuelles est étudié à l'aide d'un modèle hédoniste, basé sur un SIG. Le modèle tient compte des propriétés de l'objet immobilier, de la situation à petite ou grande échelle et des conditions générées par les installations éoliennes. L'influence est principalement représentée par la distance spatiale entre l'emplacement d'une transaction et l'installation éolienne la plus proche et est limitée au périmètre d'étude respectif autour des installations éoliennes. Les périodes des phases de planification et d'exploitation des installations éoliennes ainsi que leur visibilité sont également prises en compte.

Base de données

L'étude est basée sur environ 65'000 transactions de maisons individuelles délimitées dans l'espace, entre 2000 et 2018. L'emplacement de 216 éoliennes, dont 37 sont en exploitation et 179 sont en projet, permet d'étudier l'effet sur les prix. Pour chaque transaction, les propriétés de l'objet, les qualités d'emplacement à petite et grande échelle ainsi que l'influence spatiale et temporelle des installations éoliennes sont déterminées. Ces propriétés sont incluses dans les modèles d'évaluation avec le prix d'achat de la transaction.

Résultat et conclusion

L'analyse de l'effet sur les prix ne fournit pas de résultats clairs et statistiquement fiables. Aucun des modèles examinés ne peut mieux expliquer la variabilité des prix que le modèle de base (sans tenir compte des installations éoliennes). Les différents modèles ne sont pas stables et produisent parfois des résultats peu plausibles. On ne peut en déduire un modèle de moins-value fiable. Dans cette étude, l'effet des installations éoliennes sur le prix des maisons individuelles ne peut donc être ni réfuté ni prouvé de façon empirique. L'échantillon de transactions disponible n'est pas suffisamment représentatif en ce qui concerne la taille de l'échantillon ou la répartition des objets par rapport aux installations éoliennes afin de pouvoir démontrer un effet des installations éoliennes sur le prix de vente des maisons individuelles.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Am 21. Mai 2017 haben die Schweizer Stimmbürgerinnen und Stimmbürger das revidierte Energiegesetz angenommen. Ziel des Gesetzes ist es, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und die erneuerbaren Energien zu fördern. Eine der erneuerbaren Energiequellen bildet dabei die Windenergie.

Zur Erzeugung von Strom aus Windenergie ist die Erstellung von Windenergieanlagen an geeigneten Standorten nötig. Die Behörden sind dabei immer wieder mit Widerstand durch Anwohner und Standortgemeinden konfrontiert. Anwohnende und kommunale Akteure befürchten, dass lokale Immobilien durch den Bau von Windenergieanlagen an Wert verlieren könnten.

In diesem Zusammenhang ist der Kanton Thurgau auf Wüest Partner zugekommen. Der Kanton Thurgau war interessiert an einer Studie von Wüest Partner, die den Preiseffekt von Windenergieanlagen auf umliegende Liegenschaften untersucht und diesen Effekt, falls vorhanden und nachweisbar, abschätzt. Nach der Initialphase (Machbarkeitsabklärungen und Prüfung der Datenbestände) hat sich das Bundesamt für Energie ebenfalls für die Studie interessiert und entschieden, sich am Auftrag zu beteiligen. Das Projekt wurde fortan vom Bundesamt für Energie und dem Kanton Thurgau gemeinsam in Auftrag gegeben.

Wüest Partner hat langjährige Erfahrung und Expertise im Bereich der Modellierung von Immobilienwerten und Preiseffekten. Zusätzlich stehen Wüest Partner zahlreiche Transaktionen von Eigenheimen mit geographischer Punktverortung zur Verfügung, wodurch die Modellierung und Isolierung von Preiseinwirkungen räumlicher Phänomene (wie z.B. Windenergieanlagen) erst möglich wird.

In der Schweiz bleibt der Effekt von Windenergieanlagen quantitativ weitgehend unerörtert. Es ist bisher ungeklärt, in welcher Form (z.B. Lärm, Sichtbarkeit, Schattenwurf) und unter welchen Umständen (z.B. Distanz, Topographie, Anlagentyp) Windenergieanlagen Einfluss auf die Immobilienpreise und deren Entwicklung haben können. Abstützend auf die Studie „Windenergie Kanton Thurgau - Sichtbarkeitsanalyse“ (1.6.2017, Kanton Thurgau) werden Immobilientransaktionen in einem Perimeter von maximal 10 Kilometern um Windenergieanlagen untersucht.

Das Bundesamt für Energie stellt die Geodaten der Schweizer Windenergieanlagen zur Verfügung. Es handelt sich dabei um Anlagen, die bereits in Betrieb sind, und um geplante Anlagen, wo das Einverständnis des Projektträgers und öffentliche Informationen vorliegen. Die Daten umfassen nicht nur den geographischen Standort der Turbinen, sondern auch Angaben zur elektrischen Nennleistung, zur Nabenhöhe oder zum Rotordurchmesser. Weiter sind Informationen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme oder zum Planungsstand enthalten.

Wüest Partner wird den Effekt von Windenergieanlagen im Rahmen dieses Projektes unter den Vorbehalten und Erkenntnissen, die unter dem Punkt 1.2 Vorabklärungen aufgeführt werden, untersuchen. Bei der Analyse der Preiseffekte gibt es grundsätzlich drei mögliche Schlussfolgerungen: entweder es kann ein statis-

tisch signifikanter Preiseffekt festgestellt werden (unabhängig von dessen Ausprägung), oder es kann kein statistisch signifikanter Preiseffekt festgestellt werden, da die Datengrundlagen nicht hinreichend waren, um das Phänomen abzubilden. Die dritte Möglichkeit wäre ebenfalls das Ausbleiben eines statistisch signifikanten Preiseffektes, jedoch nicht aufgrund der mangelnden Datengrundlagen, sondern aufgrund des Ausbleibens des Effekts.

1.2 Vorabklärungen

Im Vorlauf dieser Studie wurden bereits gewisse Machbarkeitsabklärungen vorgenommen. Diese wurden insbesondere gemacht, weil Wüest Partner zu bedenken gab, dass die Anzahl geeigneter Transaktionen im Perimeter um Windenergieanlagen und unter Berücksichtigung des Zeitpunkts der Inbetriebnahme sowie der Leistung gering sein wird. So befinden sich die Windenergieanlagen oft an peripheren Standorten in grösserer Distanz zu Siedlungsflächen. Es wurde deshalb im Rahmen der Vorabklärung untersucht, ob Wüest Partner überhaupt Immobilientransaktionen zur Verfügung stehen, welche folgenden Kriterien genügen: maximal 10km von einer Windenergieanlage mit mindestens 1000kW Nennleistung (in Kilowatt, gemäss Angaben des BFE) entfernt, wobei die Inbetriebnahme maximal 8 Jahre vor und maximal 2 Jahre nach der Immobilientransaktion stattfand.

Die Datenanalyse ergab folgende Erkenntnisse:

- Einfamilienhaus-Transaktionen: 470 Transaktionen (< 1% der Stichprobe) in 10km Umkreis und im definierten Zeitraum
- Eigentumswohnungs-Transaktionen: 650 Transaktionen (1.3% der Stichprobe) in 10km Umkreis und im definierten Zeitraum
- Räumliche Verteilung der Transaktionen: Transaktionen im engeren Umkreis um die Windenergieanlagen vorhanden, aber die Mehrheit der designierten Transaktionen könnte bei genauerer Untersuchung des Perimeters (Analyse der Sichtbarkeit) noch wegfallen.

Aufgrund der Vorabklärungen kann festgehalten werden, dass die Datenlage spärlich ist, aber dennoch nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Erarbeitung eines Modells möglich ist. Es ist wahrscheinlich, dass im Rahmen der Untersuchungen der Analyse der Sichtbarkeit ein Grossteil der Transaktionen zusätzlich wegfallen könnte. Dadurch wird es unwahrscheinlicher, dass ein statistisch signifikanter Preiseffekt nachgewiesen werden kann, es kann jedoch nicht generell ausgeschlossen werden. In Studien mit ähnlichen Problemstellungen, wo signifikante Preiseffekte nachgewiesen werden konnten, machten die betroffenen Transaktionen wesentlich grössere Teile der Stichprobe aus als in dieser Untersuchung.

Trotz der Erkenntnisse aus den Vorabklärungen haben sich die Auftraggeber dazu entschieden, die Untersuchung ohne den vorerst geplanten Zwischenschritt der Prüfung der Anzahl Transaktionen mittels Sichtbarkeitsuntersuchungen direkt zu beauftragen, ein Preismodell zu berechnen und einen allfälligen Preiseffekt von Windenergieanlagen auf Immobilienpreise zu untersuchen. An einer gemeinsamen Besprechung mit den Auftraggebern wurde entschieden, dass neben den in den Vorabklärungen untersuchten Datenpunkten auch noch ein Teil der projek-

tierten Windenergieanlagen in die Auswahl miteinbezogen wird. Damit vergrößert sich die Stichprobe der Transaktionen und das geographische Untersuchungsgebiet wird erweitert (vgl. Tabelle 6):

- 675 Transaktionen (1.0% der Stichprobe) in 10km Umkreis und im Zeitraum der Betriebsphase einer Windenergieanlage
- 5'495 Transaktionen (8.4% der Stichprobe) in 10km Umkreis und im Zeitraum der Planungsphase einer Windenergieanlage

Das Bundesamt für Energie hat im Anschluss begonnen eine Übersicht zu erarbeiten, welche die Gebiete mit projektierten Windenergieanlagen auflistet. Neben der geographischen Verortung der geplanten Anlagen werden folgende Angaben mitgeliefert: Projektstatus, Projektant (vorhanden/nicht vorhanden), Anzahl Turbinen, Stand der öffentlichen Diskussion (d.h. in wie weit bereits in der breiten Öffentlichkeit bekannt und diskutiert) und Datum des Beginns der öffentlichen Diskussion.

1.3 Zielsetzung

Im ersten Schritt der Untersuchung wird geklärt, ob in den Daten von Wüest Partner ein signifikanter Preiseffekt von Windenergieanlagen auf Immobilien beobachtet werden kann. Aufgrund der vertieften Analyse der Effekte und Wirkungen wird entschieden, ob ein robustes Preismodell mit den vorhandenen Daten gerechnet werden kann oder nicht. Falls dies möglich ist, beginnt in einem zweiten Schritt die Erarbeitung eines robusten hedonischen Modells, wodurch die monetäre Schadenswirkung von Windenergieanlagen auf Preise von Einfamilienhäusern abgeschätzt werden soll. Das Modell wird vorerst nur für Einfamilienhäuser gerechnet und nicht für Eigentumswohnungen. In den Untersuchungen von ähnlichen Fragestellungen hat sich gezeigt, dass die Preiseffekte solcher Phänomene grundsätzlich bei Einfamilienhäusern ausgeprägter sind. Es wurde deshalb zielführend entschieden, einen allfälligen Effekt aufgrund von Einfamilienhaus-transaktionen zu untersuchen. Die Effekte werden schweizweit untersucht.

1.4 Vorgehen

Zuerst werden die unterschiedlichen Wirkungsweisen von Windenergieanlagen erörtert. Die Einschränkungen, die von Betroffenen aufgeführt werden, sind vielfältig. Ein allfälliger Minderwert der Immobilien könnte durch unterschiedliche Auswirkungen bedingt sein: z.B. Lärm, Erschütterungen, Schattenwurf oder Sichtbarkeit. Nicht alle diese Auswirkungen sind für Wüest Partner direkt quantifizierbar und als solche im Modell integrierbar: der Fokus der Untersuchung liegt daher auf der Luftdistanz zwischen der untersuchten Immobilie und der Windenergieanlage. Wüest Partner prüft die unterschiedlichen, datentechnisch verfügbaren und messbaren Faktoren und untersucht deren Wirkungsweisen im Modell. Nicht-messbare Einschränkungen oder solche, die Wüest Partner als Datengrundlagen nicht vorliegen, werden nicht getestet. Im Zuge dessen werden unterschiedliche Modelle getestet und die Preiswirkungen analysiert. Kann ein robustes Modell erarbeitet werden, wird dies im Anschluss finalisiert und spezifiziert. Die Erkenntnisse werden zum Schluss in einem Bericht zusammengetragen und den Auftraggebern präsentiert.

2 Methodik

2.1 Hedonische Methode

Zur Analyse und Schätzung einer allfälligen monetären Beeinträchtigung des Wertes einer Immobilie durch Windenergieanlagen bedient sich Wüest Partner der hedonischen Methode. Wüest Partner hat langjährige Erfahrung im Bereich der Modellierung von Immobilienpreisen und Preiseffekten mittels Hedonik und unterhält seit 1999 ein kommerzielles Bewertungstool mit der hedonischen Methode.

Seit den Arbeiten von Lancaster (1966) und Rosen (1974) hat sich die Methode der Hedonik zur Preisberechnung verschiedenster Güter zunehmend etabliert.

Die hedonische Theorie besagt, dass heterogene Güter aus einem Bündel von einzelnen, nutzenstiftenden Eigenschaften bestehen (Haase 2011).

Diese Eigenschaften werden vom Käufer einzeln bewertet und daraus resultiert die Zahlungsbereitschaft für das heterogene Gut als Ganzes. Konkret werden Zahlungsbereitschaften für Verbesserungen und Kompensationsbeiträge für Verschlechterungen des Wohnobjektes ermittelt. Damit diese Zahlungsbereitschaft und Kompensationsbeiträge auch modelltechnisch nachgewiesen werden können, muss ein durch den Konsumenten (in diesem Falle der Immobilienkäufer) wahrnehmbarer Unterschied zwischen vorhanden und nicht vorhanden gegeben sein. Aus der Summe der einzelnen Zahlungsbereitschaften und Kompensationsbeiträge für alle erfassten Eigenschaften resultiert der Transaktionspreis.

Das Modell zur Einschätzung der Preiseffekte bewirkt durch Windenergieanlagen ist ein GIS-basiertes, hedonisches Modell und quantifiziert neben den Objekteigenschaften die gross- und kleinräumigen Lagemerkmale einer Immobilie. Zu den kleinräumigen Lagemerkmale zählt auch die allfällige Beeinträchtigung der Lagegüte durch die Nähe zu einer Windenergieanlage.

Die Zielgrösse ist der Transaktionspreis in Schweizer Franken, welcher mittels multipler Regressionsanalyse über eine lineare Funktion von den erklärenden Kriterien der Makro- und Mikrolage (kleinräumige Lagekriterien, u.a. Nähe zu Windenergieanlagen und anderen Immissionsquellen), sowie den Objekteigenschaften abhängt (Abbildung 1).

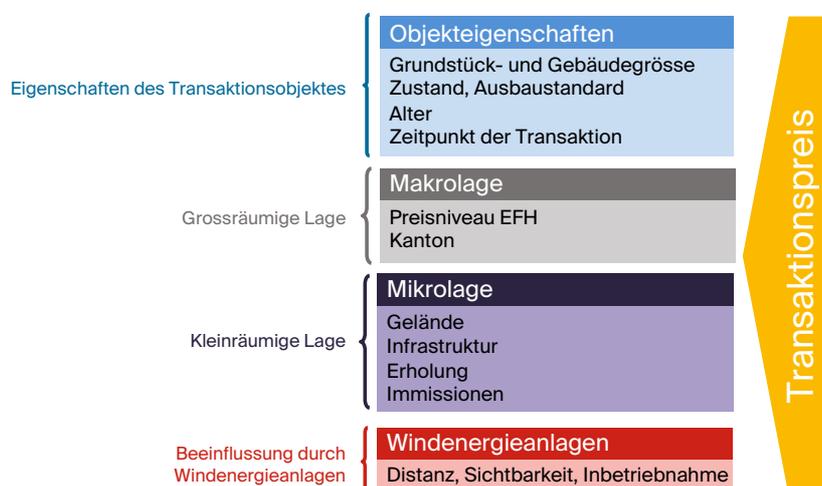


Abbildung 1
Kriterien zur Erklärung des Transaktionspreises eines Einfamilienhauses im hedonischen Modell.

Die Modellgleichung lässt sich zu Illustrationszwecken wie in Abbildung 2 gezeigt festhalten:

$$\ln \text{Transaktionspreis}_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_{Obj_k} \text{Objekt}_{ki} + \sum_{t=1}^T \beta_{Makro_t} \text{Makrolage}_{ti} + \sum_{u=1}^U \beta_{Mikro_u} \text{Mikrolage}_{ui} + \varepsilon_i$$

Abbildung 2
Modellgleichung der multiplen
Regressionsanalyse.

2.2 Stand der Forschung

In der Schweiz wurden bisher keine Studien publiziert, die schweizweit einen signifikanten Preiseffekt bewirkt durch Windenergieanlagen beziffern. Dies ist wohl insbesondere auf die beschränkte Verfügbarkeit der Datengrundlagen zurückzuführen. Die Banque Cantonale Vaudoise (BCV) hat 2012 eine Literaturstudie publiziert, in der sie einerseits das Nichtvorhandensein von Studien auf dem Schweizer Immobilienmarkt untermauert und andererseits festhält, dass internationale Studien die Befürchtung der negativen Auswirkungen weitgehend widerlegen. Die untersuchten Studien konnten dabei nach der Inbetriebnahme keine Abschlüsse feststellen. Einige Studien kamen zum Schluss, dass in der Planungs- und Bauphase mögliche Auswirkungen auf den Preis festgestellt werden konnten. Die BCV hält fest, dass vergleichbare, umfangreiche Studien in der Schweiz zurzeit aufgrund der spärlichen Datengrundlagen nicht möglich sind. Und obwohl die direkte Übertragung der internationalen Erkenntnisse auf den Schweizer Markt nicht zulässig sei, so seien die Verfestigung der geäußerten Befürchtungen zumindest aufgrund der internationalen Erkenntnisse anzuzweifeln (BCV 2012).

Wie erwähnt, gibt es international einige Publikationen, in denen die Effekte auf den Immobilienmarkt quantitativ untersucht wurden. Bei Windenergieanlagen ist, anders als beispielsweise bei der Minderwertforschung durch Strassenlärm, noch nicht abschliessend geklärt, in welcher Form sich diese auf Immobilienpreise auswirken. Denkbar wäre das gegebenenfalls durch Sichtbarkeit, Schattenwurf oder Lärm. Eine englische Studie hat bei empirischen Befragungen die fünf Hauptgründe festgehalten, welche die negativen Konnotationen mit Windenergieanlagen bewirken: Sichtbarkeit (von 22.9% der Befragten erwähnt), Effekte auf Tierwelt (11.4%), Lärm der Turbinen (11.4%), Baulärm (6.8%) und Verbauung der Landschaft (6.4%) (Bond et al. 2013).

Hoen et al. (2013) haben in den USA mehrere Studien durchgeführt, wo sie aufgrund von Transaktionsdaten den Effekt von Windturbinen auf den Immobilienmarkt quantifizieren wollten. Dabei konnten sie statistisch keinen signifikanten Effekt herleiten, sowohl während der Planungs- als auch während der Bau- und Betriebsphase. Falls ein Effekt bestehe, so sei dieser nur vereinzelt nachweisbar und beschränke sich auf spezielle Immobilienmarktsegmente (Hoen et al. 2013). Heintzelman und Tuttle (2012) fanden in ihren Analysen zwar eine negative Korrelation zwischen der Nähe zu Windturbinen und Immobilienpreisen, konnten jedoch kein stabiles und konsistentes Modell entwickeln. Sunak und Madlener (2014) stellten einen Abschlag von 10-17% für Immobilien fest, bei denen die Windenergieanlagen dominant im Sichtfeld auftraten (Untersuchung in Deutschland). Bei nur geringen oder marginalen Sichteinschränkungen konnte kein Preisabschlag nachgewiesen werden. Auch in den Untersuchungen in Schottland von Heblich et al. (2016) konnten bei der Analyse auf Postleitzahlstufe keine signifikanten Preisabschlüsse für Windturbinen (Nähe und Sichtbarkeit) nachgewiesen werden. Zum Teil wurden sogar positive Effekte festgestellt, was der Annahme eines negativen Einflusses widerspricht und die Plausibilität der Modelle in Frage stellt. Heblich et al. (2016) rechneten neben den Postleitzahlanalysen auch Mo-

delle auf Einzeltransaktionen und konnten dabei ebenfalls keine konsistenten Ergebnisse festhalten. Die Preiseffekte variierten stark über die Distanz, waren mal negativ und mal positiv und meistens nicht statistisch signifikant. Sie halten fest, dass in keinem ihrer Modelle konsistente, negative Preiseffekte feststellbar sind. Zurückgeführt wird diese Inkonsistenz einerseits auf eine positive Einstellung in Schottland gegenüber Windenergie. Andererseits aber auch auf die häufig sehr peripher gelegenen Windenergieanlagen sowie damit verbundene wirtschaftliche und soziale Effekte. Dent und Sims (2007) konnten in ihren Untersuchungen in Cornwall zwar Preisabschläge feststellen, jedoch nur innert einer Meile um die Windturbine und nur bei Reihenhäusern und nicht bei freistehenden Einfamilienhäusern. In seiner vielbeachteten Studie untersuchte Gibbons (2014) mit umfangreichen Analysen und Modellen die positiven und negativen Effekte von Windenergieanlagen. Im Untersuchungsgebiet England stellte er signifikante Preiseffekte auf den Immobilienmarkt fest. In der Postleitzahl-scharfen Analyse konnten negative Preiseffekte festgestellt werden: 5-6% innert 2km 2% innert 4km und <1% innert 14km Distanz zu einer Windenergieanlage. Dabei sind die Abschläge nur bei für die Postleitzahlen sichtbaren Windturbinen signifikant. Ab 4km werden die Effekte teilweise auch positiv. Dies wird damit erklärt, dass die Haushalte in 4-8km Distanz zur Windenergieanlage unter Umständen stärker von den positiven Auswirkungen (u.a. Arbeitsplätze, Energie, Nachfrage durch Umzüge aus „betroffenen“ näheren Postleitzahlen) profitieren als unter den negativen (z.B. Sichtbarkeit) leiden. Gibbons (2014) untersuchte neben der Sichtbarkeit und der Distanz auch den Einfluss der Grösse des Windparks auf den Preiseffekt. Dabei zeigte sich, dass der Preisabschlag desto grösser ausfällt und über eine weitere Distanz nachweisbar bleibt, je mehr Turbinen die Windenergieanlage umfasst. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse je nach Land und je nach methodischem Ansatz, sowohl bezüglich der Spezifikation der Windenergieanlagen (über Distanz, Sichtbarkeit, Art der Sichtbarkeit usw.) als auch bezüglich der Modellmethodik, unterschiedlich und auch widersprüchlich sind und damit keine klaren Aussagen erlauben. Die Datengrundlagen und auch die Lokalisierung sowie Dimensionen der Windenergieanlagen sind sehr heterogen. In der Schweiz gab es bisher keine umfassende quantitative Untersuchung, welche mit den besprochenen Studien vergleichbar wäre. Sowohl der Immobilienmarkt Schweiz, als auch der Windenergie-Markt Schweiz zeichnen sich wiederum durch spezifische und lokale Spezialitäten und Mechanismen aus. Eine Untersuchung, wie sie im Rahmen des vorliegenden Projektes gemacht wird, betritt somit im weitgehendsten Sinne Neuland.

3 Datengrundlage

3.1 Beschreibung der Stichprobe

Als Stichprobe dienen 65'383 effektive Transaktionen von Einfamilienhäusern im Zeitraum zwischen 2000 und 2018 (bis und mit 2. Quartal). Es werden nur Transaktionen verwendet, die räumlich exakt verortet werden können. Nur so kann gewährleistet werden, dass die kleinräumigen Eigenschaften in zufriedenstellender Genauigkeit angereichert werden können. Dadurch begründet sich auch die deutlich tiefere Anzahl Transaktionen in den früheren Jahren, da damals die genaue Adresse nur selten erfasst wurde (Tabelle 1).

| Transaktionsjahr | Einfamilienhäuser | Anteil an Stichprobe |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 2000 | 215 | 0.3% |
| 2001 | 284 | 0.4% |
| 2002 | 968 | 1.5% |
| 2003 | 4'478 | 6.8% |
| 2004 | 4'523 | 6.9% |
| 2005 | 5'295 | 8.1% |
| 2006 | 3'660 | 5.6% |
| 2007 | 2'548 | 3.9% |
| 2008 | 2'248 | 3.4% |
| 2009 | 2'227 | 3.4% |
| 2010 | 1'615 | 2.5% |
| 2011 | 2'110 | 3.2% |
| 2012 | 2'276 | 3.5% |
| 2013 | 2'069 | 3.2% |
| 2014 | 6'298 | 9.6% |
| 2015 | 2'605 | 4.0% |
| 2016 | 8'472 | 13.0% |
| 2017 | 8'882 | 13.6% |
| 2018 ¹ | 4'610 | 7.1% |
| Total | 65'383 | 100% |

Tabelle 1
Verteilung der Stichprobe
Anzahl Transaktionen von Ein-
familienhäusern pro Jahr.

Für einen deskriptiven Überblick der Stichprobe wird in Tabelle 2 die in den Daten abgedeckte Bandbreite bezüglich der Kaufpreise jährlich aufgeführt. Dabei werden die 5%- (Minima) und 95%-Quantile (Maxima), sowie das arithmetische Mittel (Mittelwert) und der mittlere Wert (Median) aufgezeigt.

| Jahr | 5%-Quantil | Mittelwert | Median | 95%-Quantil |
|-------------------|------------|------------|-----------|-------------|
| 2000 | 350'000 | 813'000 | 670'000 | 1'772'000 |
| 2001 | 272'000 | 760'000 | 680'000 | 1'534'000 |
| 2002 | 260'000 | 724'000 | 629'000 | 1'516'000 |
| 2003 | 300'000 | 762'000 | 650'000 | 1'501'000 |
| 2004 | 280'000 | 776'000 | 665'000 | 1'610'000 |
| 2005 | 300'000 | 819'000 | 670'000 | 1'790'000 |
| 2006 | 300'000 | 896'000 | 700'000 | 2'000'000 |
| 2007 | 330'000 | 936'000 | 730'000 | 2'000'000 |
| 2008 | 330'000 | 931'000 | 740'000 | 2'020'000 |
| 2009 | 340'000 | 968'000 | 770'000 | 2'150'000 |
| 2010 | 384'000 | 1'059'000 | 825'000 | 2'372'000 |
| 2011 | 360'000 | 1'110'000 | 850'000 | 2'500'000 |
| 2012 | 360'000 | 1'164'000 | 900'000 | 2'584'000 |
| 2013 | 395'000 | 1'226'000 | 920'000 | 2'650'000 |
| 2014 | 410'000 | 1'197'000 | 945'000 | 2'520'000 |
| 2015 | 420'000 | 1'135'000 | 900'000 | 2'400'000 |
| 2016 | 397'000 | 1'187'000 | 940'000 | 2'500'000 |
| 2017 | 420'000 | 1'295'000 | 1'030'000 | 2'940'000 |
| 2018 ¹ | 415'000 | 1'252'000 | 988'000 | 2'700'000 |

Tabelle 2
Spektren der Transaktions-
preise für Einfamilienhäuser in
der Stichprobe pro Jahr.

Für den Transaktionspreis sind nicht nur der Zeitpunkt der Transaktion sowie der Standort und die damit verbundenen Lageeigenschaften entscheidend, sondern

¹ Nur erstes Halbjahr (Januar bis Juni 2018).

auch die eigentlichen Objekteigenschaften der Immobilie. Dies sind primär die Grundstücks- und Gebäudegrösse, das Alter, der Zustand und Ausbaustandard der Immobilie. Diese Merkmale sind für alle Transaktionen vorhanden.

Die Transaktionen werden mit preisrelevanten Informationen auf der Stufe der Makrolage angereichert, u.a. dem generellen Preisniveau für Einfamilienhäuser in einer Gemeinde. Die Makrolage definiert die grossräumigen Lageeigenschaften einer Immobilie und meint für gewöhnlich die Gemeinde. Für grossräumige Gemeinden werden jedoch noch kleinere Gebiete unterschieden. So sind das in Zürich z.B. die Stadtquartiere oder in Glarus die Ortschaften.

Die kleinräumige Lagequalität ist ebenfalls äusserst relevant zur Bestimmung des Preises einer Immobilie. Für jede Transaktion werden dazu alle relevanten und messbaren Eigenschaften der Mikrolage erfasst. Dies umfasst die Lage im Gelände (z.B. Hangneigung, Aussicht), die Distanz zu Infrastrukturen (z.B. Haltestelle, Schule) und Erholung (z.B. See) sowie die Beeinträchtigung durch Immissionen (z.B. Strassen- und Bahnärm). Wüest Partner berücksichtigt diese Eigenschaften auch für das Mikrolagenrating. Das Mikrolagenrating ist ein GIS-basiertes, hedonisches Modell, das für alle besiedelten Lagen der Schweiz die Lagegüte, basierend auf den einzelnen vorhandenen Lagequalitäten, ausweist. Das Mikrolagenrating ist bei Wüest Partner und bei den grossen Banken und Versicherungen, die als Kunden die Applikationen von Wüest Partner nutzen, operativ im Einsatz zur Einschätzung der kleinräumigen Lage der zu bewertenden Immobilien.

3.2 Daten der Windenergieanlagen

Für die Untersuchung der Preiswirkung auf die Einfamilienhaus-Transaktionen lieferte das Bundesamt für Energie im August 2018 eine Zusammenstellung aller bestehenden und zu diesem Zeitpunkt projektierten Windenergieanlagen, die in der öffentlichen Diskussion stehen und wo das Einverständnis der Projektträger vorliegt. Nicht alle Projektträger haben der Verwendung der Daten zugestimmt. Wüest Partner hat die Richtigkeit und Aktualität der von den Auftraggebern zur Verfügung gestellten Daten nicht weiter überprüft. Die Daten werden ohne Verifizierung übernommen und im Modell eingearbeitet.

Bestehende Windenergieanlagen

Die bestehenden Anlagen enthalten Angaben zu Standort, Nennleistung, Nabenhöhe, Rotordurchmesser, Bau- und Abbruchjahr. Anlagen mit einer Nennleistung kleiner als 1000kW oder in einem Windpark mit einer nominalen Gesamtleistung von weniger als 1000kW wurden in der Analyse gemäss Absprache mit den Auftraggebern nicht berücksichtigt.

Projektierte Windenergieanlagen

Die projektierten Anlagen enthalten ebenfalls Angaben zum Standort, der geplanten Anzahl Turbinen und der Gesamtleistung. Zusätzlich hat das Bundesamt für Energie für jede Anlage, bei der das Einverständnis des Projektträgers vorlag, den Stand und Beginn der öffentlichen Diskussion zusammengestellt und geliefert. Die Nennleistung der einzelnen projektierten Windenergieanlagen wird aus der geplanten Anzahl und Gesamtleistung pro Windpark berechnet. Bei den projektierten Anlagen handelt es sich ausschliesslich um Turbinen mit einer Nennleistung von mindestens 2000kW. Aus der resultierenden Nennleistung können anschliessend Annahmen zur Nabenhöhe und zum Rotordurchmesser abgeleitet werden (Tabelle 3). Die Nabenhöhen wirken verglichen mit Herstellerangaben ten-

denziell etwas tief. Aufgrund militärischer und flugsicherheitstechnischer Einschränkungen sind in der Realität aber häufig etwas tiefere Nabenhöhen zu realisieren.

| Nennleistung [kW] | Nabenhöhe [m] | Rotordurchmesser [m] |
|-------------------|---------------|----------------------|
| 2000 bis 2999 | 90 | 80 |
| 3000 bis 3999 | 110 | 100 |
| ab 4000 | 130 | 120 |

Tabelle 3
Annahmen zu Nabenhöhe und Rotordurchmesser aus der Nennleistung.

Für fast alle projektierten Windenergieanlagen sind die geplanten Standorte der einzelnen Turbinen bekannt. Bei zwei Projekten (SG-3 und BE-8) sind anstelle der Turbinenstandorte die Projektperimeter angegeben. Die Turbinenstandorte werden für diese beiden Projekte unter Berücksichtigung der technisch notwendigen Abstände manuell im Perimeter verortet (Abbildung 3 und Abbildung 4):

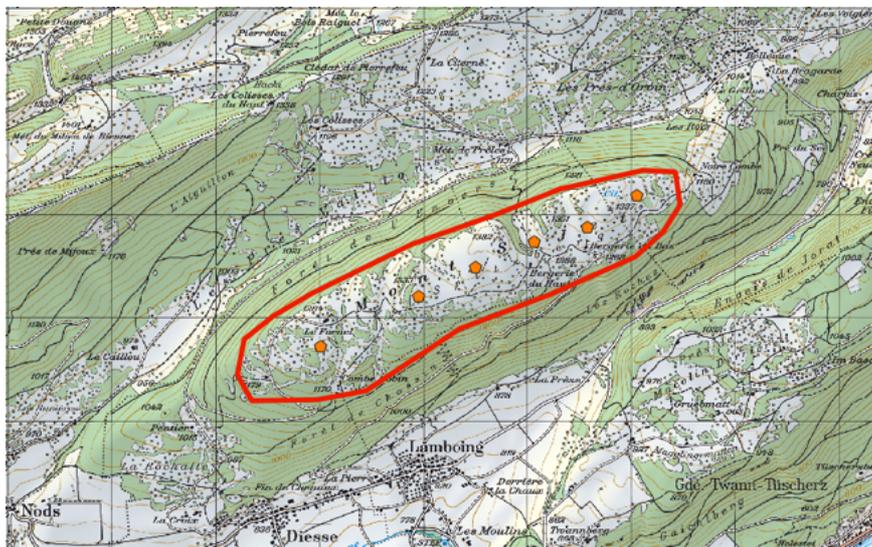


Abbildung 3
Mont Sujet (BE-8)
Geplante Anlagen: 6
Gesamtleistung: 18MW

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Kartengrundlagen: Swisstopo

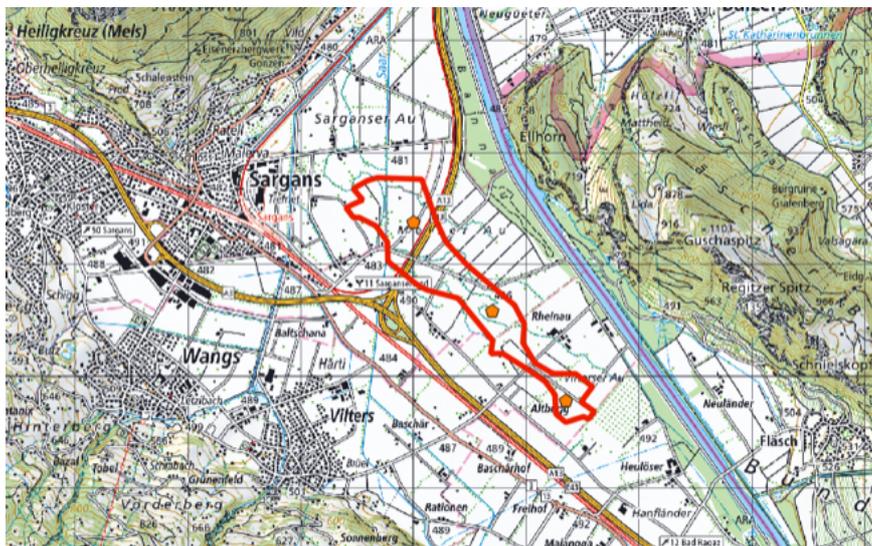


Abbildung 4
Windpark Rheinau (SG-3)
Geplante Anlagen: 3
Gesamtleistung: 9MW

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Kartengrundlagen: Swisstopo

Planungs- und Betriebsphase der Windenergieanlagen

Für jede Windenergieanlage werden die Zeitabschnitte der Planungs- und der Betriebsphase festgelegt. Für bestehende Anlagen sind keine Angaben zum Beginn der Planungsphase verfügbar. Als Zeitraum der Planungsphase werden deshalb die vor dem Jahr der Inbetriebnahme liegenden 8 Jahre angenommen. Die Betriebsphase wird ab dem Jahr der Inbetriebnahme als offener Zeitraum definiert. Das Abbruchjahr einiger Turbinen auf dem Mont Soleil im Kanton Bern wird für diese Untersuchung nicht berücksichtigt, weil gleichzeitig an allen Standorten in unmittelbarer Umgebung neue Anlagen erstellt wurden.

Für die projektierten Turbinen wird in Absprache mit den Auftraggebern der Start der Planungsphase mit dem Zeitpunkt des Beginns der öffentlichen Debatte festgelegt.

Abbildung 5 zeigt je ein Beispiel der Planungs- und Betriebsphase für eine bestehende und eine projektierte Anlage.

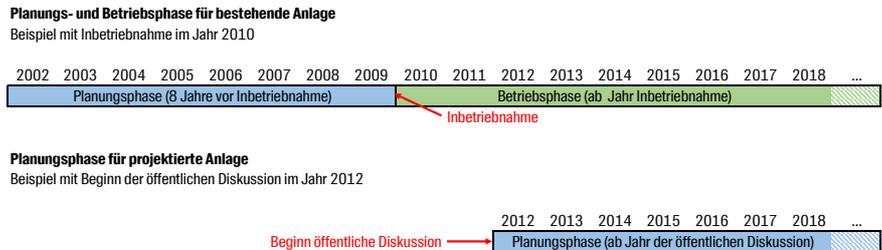


Abbildung 5
Beispiel der Planungs- und Betriebsphase bei bestehenden und projektierten Anlagen.

3.3 Sichtbarkeitsanalyse

Für die bestehenden und geplanten Windenergieanlagen wird zusätzlich zu den bereits erfassten Eigenschaften eine Sichtbarkeitsanalyse berechnet. Diese berücksichtigt die Topographie (Hügel, Berge, Täler etc.) mittels eines digitalen Höhenmodells mit einer Rasterzellengrösse von 25mx25m (Swisstopo swissALTI3D, 2017). Für jede Rasterzelle kann damit die Sichtbarkeit bestimmt und die Anzahl theoretisch sichtbarer Anlagen berechnet werden. Weitere sichteinschränkende Hindernisse wie Gebäude oder Vegetation werden nicht berücksichtigt. Damit wird die Sichtbarkeit tendenziell überschätzt. Abbildung 6 zeigt schematisch, wie die Topographie die Sichtbarkeit einer Windenergieanlage z.B. in Tallagen einschränken kann (rot), während von der gegenüberliegenden Anhöhe freie Sicht besteht (grün).

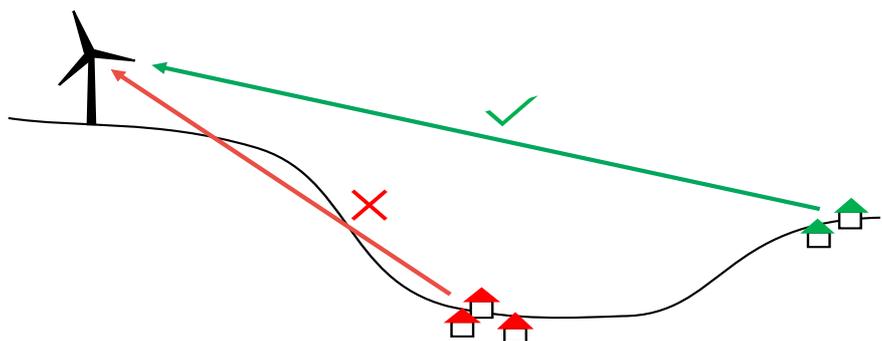


Abbildung 6
Beispiel Sichtbarkeit.

Für die Berechnung der Sichtbarkeit werden folgende Parameter verwendet:

- Maximale Entfernung zur Windturbine (Perimeter): 2.5km, 5km, 10km
- Höhe der Windenergieanlage: Nabhöhe + ($\frac{1}{2}$ * Rotordurchmesser)
- Sichthöhe am Beobachtungspunkt: 2m über dem Boden

In Abbildung 7 zeigt sich die einschränkende Wirkung der Topographie für die gesamte Schweiz. Die Standorte der Windenergieanlagen (rote Punkte) sind nur von den grün eingefärbten Flächen aus sichtbar. Mit der Sichtbarkeitsanalyse lässt sich bei der Modellbildung für jede Transaktion bestimmen, ob potenziell überhaupt Sichtkontakt zu einer Windturbine besteht.

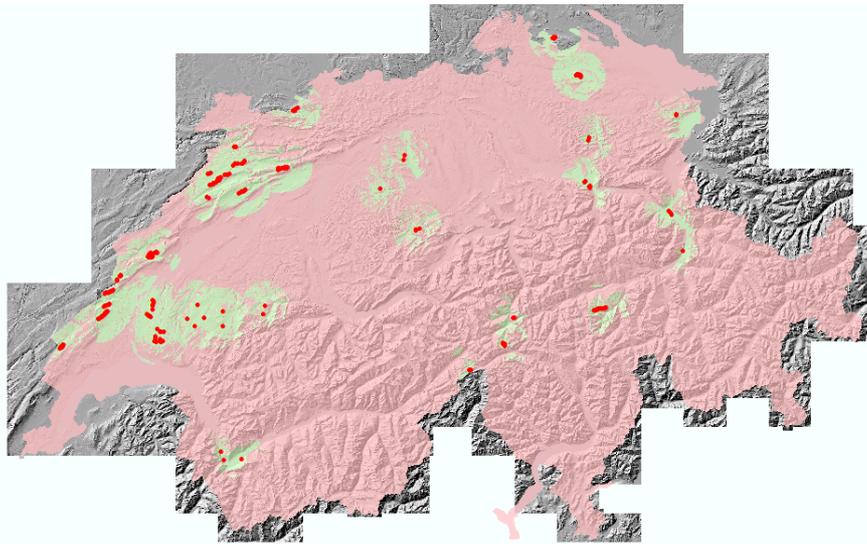


Abbildung 7
Beispiel der Sichtbarkeit bei einem Perimeter von 10km. Berücksichtigt sind einerseits die Windenergieanlagen im Betrieb und andererseits die geplanten Anlagen mit Einverständnis der Projektanten.

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Kartengrundlagen: Swisstopo

3.4 Deskriptive Analyse der Windenergieanlagen

Nach der Aufbereitung der Windenergieanlagen wird für jede Transaktion bestimmt, ob sich ihr Standort innerhalb oder ausserhalb des Untersuchungsperimeters um eine Windenergieanlage befindet. Als Untersuchungsperimeter sind drei verschiedene Distanzen um die Windenergieanlagen definiert: 2.5km, 5km und 10km (abstützend auf „Windenergie Kanton Thurgau - Sichtbarkeitsanalyse“, 1.6.2017, Kanton Thurgau). Ebenso werden für jede Transaktion die Sichtbarkeit und die Anzahl möglicher sichtbarer Anlagen für die drei untersuchten Perimeter bestimmt.

Für jede Transaktion wird die Luftliniendistanz² zu allen Windenergieanlagen berechnet. Anschliessend wird der Transaktion jene Windenergieanlage mit der kürzesten Distanz zugewiesen³. Damit kann neben der Distanz bestimmt werden, ob zum Zeitpunkt der Transaktion überhaupt eine mögliche Beeinflussung durch die Planungs- oder Betriebsphase der Windenergieanlage gegeben ist.

Standorte und Perimeter der Windenergieanlagen

Nach der Aufbereitung fliessen die Standorte von insgesamt 216 Windenergieanlagen (Stand August 2018) in das Modell ein (Tabelle 4).

² Direkte Distanz im dreidimensionalen Raum vom Standort der Transaktion zur Windenergieanlage.

³ Dies aufgrund der Annahme, dass die nächstgelegene Windenergieanlage potenziell den grössten Einfluss auf den Transaktionspreis einer Immobilie hat.

| Anzahl Windenergieanlagen | bestehend | projektiert |
|---------------------------|-----------|-------------|
| 216 | 37 | 179 |

Tabelle 4
Anzahl Windenergieanlagen.

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Bestehende Anlagen befinden sich im nordwestlichen Jura, im Rhonetal bei Martigny, im Entlebuch, auf dem Oberalp-/Nufenenpass und im Churer Rheintal. Ein grosser Teil der projektierten Windenergieanlagen liegt in der Westschweiz und im Jura. Daneben sind weitere Projekte in der Ostschweiz, in den Alpen und im Mittelland geplant. In Abbildung 8 sind die bestehenden und geplanten Windenergieanlagen und -projekte zusammen mit einem 10km Radius als Untersuchungsperimeter abgebildet. Ein grosser Teil der bestehenden Anlagen und der geplanten Projekte konzentriert sich auf periphere, in grosser Distanz zum Siedlungsgebiet gelegene Standorte, aufgrund der günstigeren Windverhältnisse oftmals auf Anhöhen oder Hügeln.

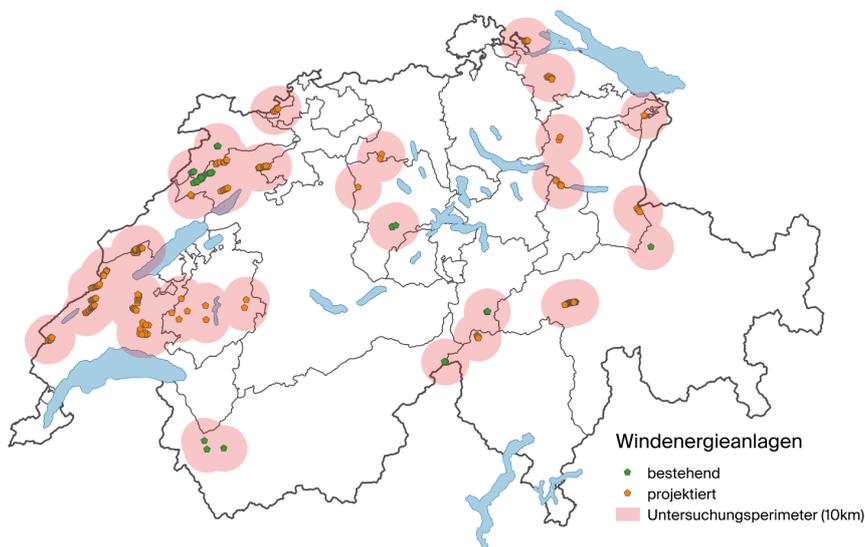


Abbildung 8
Übersicht der Windenergieanlagen mit 10km Untersuchungsperimeter.

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Kartengrundlagen: Swisstopo

Dimensionierung der Windenergieanlagen

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der Dimensionierung der Windenergieanlagen in der Untersuchung (Stand August 2018). Für die projektierten Anlagen werden die Werte aus der Nennleistung geschätzt.

| Eigenschaft | Minimum | Maximum | Mittelwert | Median |
|----------------------|---------|---------|------------|--------|
| Nennleistung [kW] | 600 | 4'200 | 2'752 | 3'000 |
| Nabenhöhe [m] | 45 | 130 | 100 | 110 |
| Rotordurchmesser [m] | 40 | 120 | 91 | 100 |

Tabelle 5
Dimensionierung der Windenergieanlagen⁴.

Quelle:
BFE, Stand August 2018

Transaktionen im Untersuchungsperimeter

Von den insgesamt 65'383 Transaktionen, die zur Analyse und Modellbildung verwendet werden, befindet sich nur ein kleiner Teil im Einflussbereich einer Windenergieanlage. Tabelle 6 zeigt die Anzahl der von Windenergieanlagen möglicherweise betroffenen Transaktionen für verschieden grosse Untersuchungsperimeter. In Klammern ist jeweils der relative Anteil der gesamten Stichprobe

⁴ Werte sind teilweise geschätzt. Vereinzelt werden Turbinen mit einer Nennleistung von weniger als 1'000 kW verwendet, da sie im Verbund mit anderen Turbinen aus einem Windpark mit einer Nennleistung grösser als 1'000 kW stammen, vgl. 3.2.

angegeben. Die in der Untersuchung verwendeten Distanzen betragen 2.5km, 5km und 10km. Je kleiner der Perimeter, desto kleiner wird auch die Anzahl der Transaktionen. Nur wenn eine Transaktion innerhalb des Perimeters liegt und sich der Transaktionszeitpunkt entweder in der Planungs- oder Betriebsphase der nächstgelegenen Windenergieanlage befindet, wird sie als potentiell beeinflusst taxiert. Beim Einbezug der Sichtbarkeitsanalyse wird die betroffene Anzahl der Transaktionen nochmals verringert.

| Perimeter | 2.5km | | 5km | | 10km | |
|---|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| | Planung | Betrieb | Planung | Betrieb | Planung | Betrieb |
| innerhalb Perimeter | 406 (0.6%) | 100 (0.2%) | 1655 (2.5%) | 306 (0.5%) | 5495 (8.4%) | 675 (1.0%) |
| innerhalb Perimeter bei Berücksichtigung der Sichtbarkeit | 348 (0.5%) | 87 (0.1%) | 1150 (1.8%) | 207 (0.3%) | 3032 (4.6%) | 319 (0.5%) |

Tabelle 6
Anzahl von Windenergieanlagen betroffene Transaktionen bei unterschiedlichem grossem Untersuchungsperimeter.

Die Analyse der Distanzen zwischen den Transaktionen und der nächsten Windenergieanlage sind abhängig vom gewählten Perimeter und ob die Sichtbarkeit der Anlagen berücksichtigt wird. Die geringste Entfernung einer Transaktion zu einer Windenergieanlage beträgt in der ausgewerteten Stichprobe 604m (Tabelle 7). Bei der Betrachtung der Verteilung der Distanzen zwischen den Transaktionen und den Windenergieanlagen in Abbildung 9 zeigt sich, dass die Anzahl Transaktionen bis zu einer Distanz von 3.5km ungefähr proportional zu der Distanz zur Windenergieanlage zunimmt. Danach unterscheiden sich die Verteilungen abhängig davon, ob die Sichtbarkeit berücksichtigt wurde oder nicht.

| | Perimeter | Minimum | Maximum | Mittelwert | Median |
|---|-----------|---------|---------|------------|--------|
| Distanz zu nächster Anlage [m] innerhalb Perimeter | 2.5km | 604 | 2'607 | 1'855 | 1'958 |
| | 5km | 604 | 5'039 | 3'298 | 3'428 |
| | 10km | 604 | 10'030 | 6'296 | 6'556 |
| Distanz zu nächster Anlage [m] innerhalb Perimeter bei Berücksichtigung der Sichtbarkeit | 2.5km | 604 | 2'499 | 1'815 | 1'883 |
| | 5km | 604 | 5'020 | 3'070 | 3'054 |
| | 10km | 604 | 10'030 | 5'730 | 5'736 |

Tabelle 7
Spektrern der Distanzen zwischen den Transaktionen und Windenergieanlagen für die unterschiedlichen Perimeter.

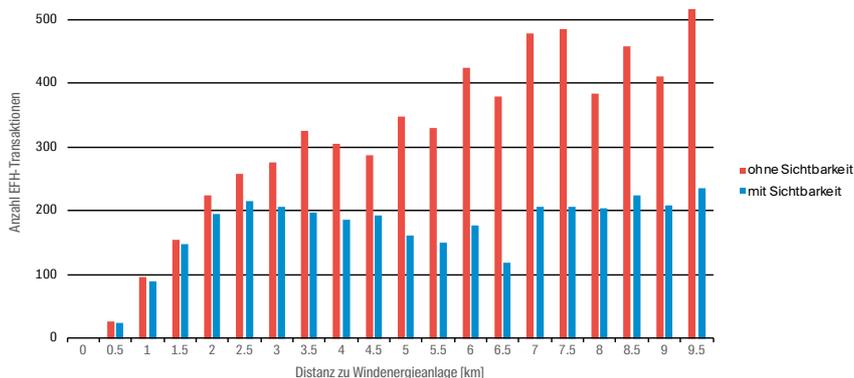


Abbildung 9
Distanzverteilung zwischen den Transaktionen und den Windenergieanlagen für den Untersuchungsperimeter von 10km mit und ohne Berücksichtigung der Sichtbarkeit.

Abbildung 10 zeigt für die verfügbaren Transaktionen im Untersuchungsperimeter 10km das Verhältnis zwischen jenen in der Betriebs- und Planungsphase (ohne Berücksichtigung der Sichtbarkeit). Die Anzahl der durch Windenergieanlagen in der Betriebsphase beeinflussten Transaktionen ist wie schon in Tabelle 6 gezeigt viel kleiner als die der durch projektierte Anlagen betroffenen Liegenschaften. Zudem ist ersichtlich, dass vor allem in der unmittelbaren Umgebung um Windenergie-

gieanlagen nur wenige Transaktionen verfügbar sind. Der Vergleich mit dem kompletten Bestand der Einfamilienhäuser aus der Gebäude- und Wohnungsstatistik GWS (BFS, Stand 2017) in Abbildung 11 zeigt auf, dass in der Schweiz die Verteilung von Einfamilienhäusern im 10km Untersuchungsperimeter recht ähnlich ist wie in den Transaktionen.

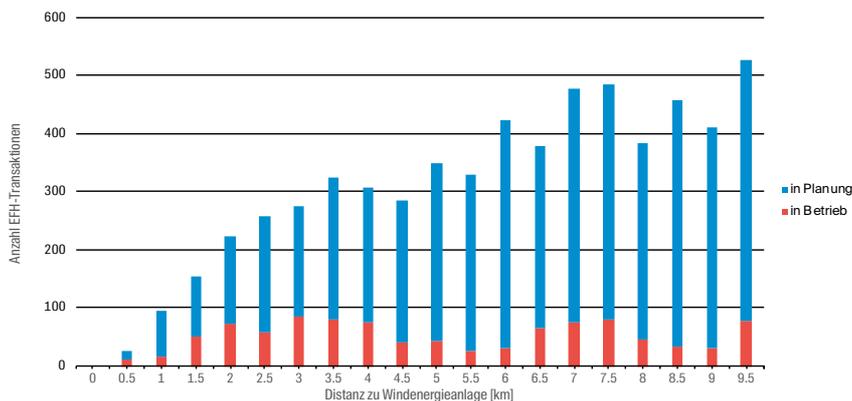


Abbildung 10
Distanzverteilung der Transaktionen ohne Berücksichtigung der Sichtbarkeit für den Untersuchungsperimeter von 10km.

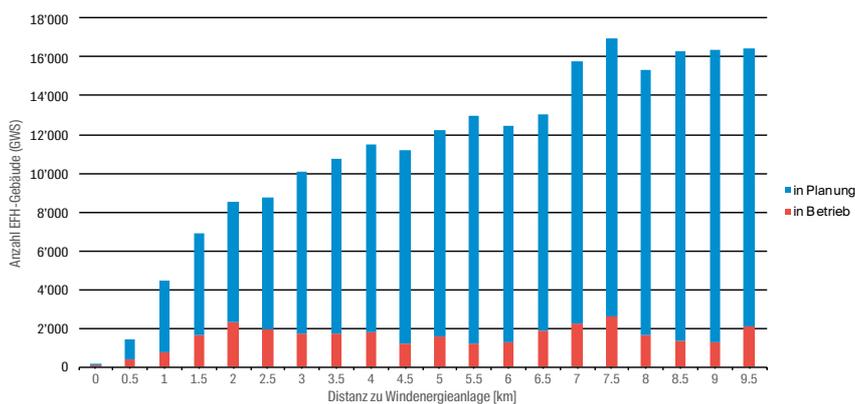


Abbildung 11
Distanzverteilung der Einfamilienhäuser aus dem GWS (Gebäude- und Wohnungsregister) ohne Berücksichtigung der Sichtbarkeit für den Untersuchungsperimeter von 10km.

Quelle: BFS, GWS 2017

Wahrgenommene Grösse abhängig von der Distanz

Im Zusammenhang mit der Sichtbarkeit ist auch die Distanz zwischen der Windenergieanlage und dem Standort der Transaktion von Bedeutung. Mit dem Strahlensatz lässt sich die scheinbare Grösse eines entfernten Objektes im Blickfeld des Betrachters abschätzen. Die scheinbare oder wahrgenommene Grösse h_s eines Objekts berechnet sich aus der wahren Grösse h_w und den beiden Distanzen d_s und d_w (Abbildung 12) gemäss folgender Formel:

$$h_s = \frac{h_w d_s}{d_w}$$

Formel
Berechnung der scheinbaren Grösse mittels Strahlensatzes.

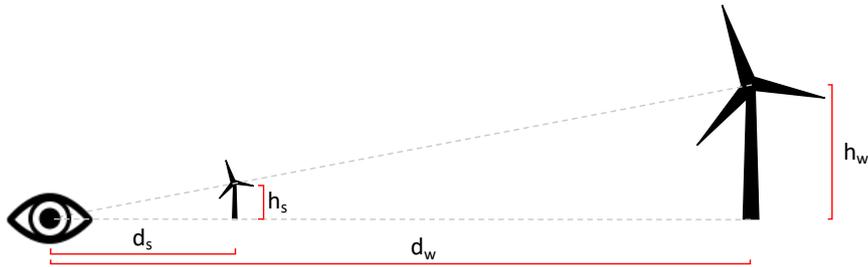


Abbildung 12
Schematische Darstellung der scheinbaren Grösse einer entfernten Windturbine.

Der Zusammenhang zwischen der Distanz eines entfernten Objekts und dessen scheinbarer Grösse ist dabei nicht linear. Die scheinbare Grösse des Objekts nimmt mit zunehmender Distanz h_w schnell ab. In Abbildung 13 ist die scheinbare Grösse einer Windturbine mit einer Nabenhöhe h_w von 120m dargestellt. Zur einfacheren Interpretation wurde der Sichtwinkel in die Grösse h_s eines Objektes in 1m Entfernung (d_s) vor dem Auge des Betrachters umgerechnet. So erscheint ein 120m hohes Objekt in einer Entfernung von 1km im Auge des Betrachters wie ein 12cm hohes Objekt direkt 1m vor dem Auge. Bei 10km beträgt die scheinbare Grösse noch 1.2cm.

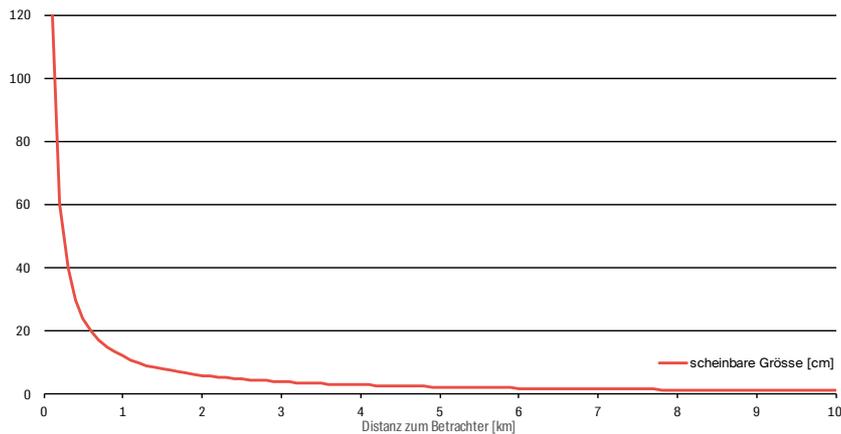


Abbildung 13
Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Grösse eines entfernten Objektes und der Distanz zum Betrachter: Beispiel mit einem 120m hohen Objekt.

Quelle: Wüest Partner

Die scheinbare Grösse wurde in verschiedenen Modellen als Einflussgrösse getestet, hat sich aber durch die direkte Abhängigkeit zur ebenfalls als Eingangsgrösse verwendeten Distanz nicht als mit einem statistisch signifikanten Effekt verbunden herausgestellt.

4 Preismodell

4.1 Modellspezifikation

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, soll untersucht werden, ob die Nähe von Einfamilienhäusern zu Windenergieanlagen einen Einfluss auf deren Preis hat. Mittels multipler linearer Regressionsanalyse wird dazu aus den verfügbaren Transaktionsdaten für jede Eingangsgrösse (Objekteigenschaften, Makro- und Mikrolage, Lageinformationen zu den Windenergieanlagen) ihr Beitrag zur Zielgrösse (Kaufpreis) geschätzt. Während der Datenaufbereitung und der Modellbildung wurden bereits vielschichtige und diversifizierte, explorative Tests mit verschiedenen Spezifikationen der Variablen und Regressionsmodelle durchgeführt. Im Folgenden werden die finale Spezifikation der Variablen und der Regressionsmodelle erläutert.

4.1.1 Spezifikation der Variablen

Die folgenden Merkmale der Transaktionen (siehe auch Abschnitt 3.1) fliessen als Variablen in sämtliche Modelle ein und bilden im Folgenden das Grundmodell (keine abschliessende Aufzählung). Die Zielgrösse der Modelle ist immer der Kaufpreis in Schweizer Franken.

| Merkmal | Beschrieb |
|--------------------------------|--|
| Objekt | Kaufpreis der Transaktion in CHF → Zielgrösse ⁵ |
| | Grundstücksgrösse |
| | Gebäudevolumen |
| | Haustyp (Reihenhaus, Eckhaus usw.) |
| | Zustand der Immobilie |
| | Standard der Immobilie |
| | Alter der Immobilie zum Zeitpunkt der Transaktion |
| | Kalenderjahr der Transaktion |
| Makrolage Grossräumige Lage | Preisniveau für Einfamilienhäuser in der Makrolage |
| | Gemeindetyp |
| | Kanton |
| Mikrolage Kleinräumige Lage | Gelände (u.a. Hangneigung, Aussicht) |
| | Infrastruktur (u.a. Distanz zu Haltestelle, Schule) |
| | Erholung (u.a. Distanz zu See) |
| | Immissionen (u.a. Strassen- und Bahnlärm) |

Tabelle 8
Zielgrösse und Modellvariablen der Objekteigenschaften, Makro- und Mikrolage.

Die Beeinflussung der Einfamilienhäuser durch die Windenergieanlagen wird mit verschiedenen Variablen operationalisiert:

Distanz zur nächsten Windenergieanlage

Jeder Transaktion, unabhängig davon, ob innerhalb oder ausserhalb des Untersuchungsperimeters, wurde die Distanz zur nächstgelegenen Windenergieanlage zugeordnet. Es handelt sich dabei um die direkte Luftliniendistanz zwischen dem

⁵ Alle Modelle schätzen aus den gegebenen Daten für jede Variable ihren Beitrag zur Zielgrösse.

Einfamilienhaus und der Windenergieanlage unter Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Distanz (siehe Abschnitt 3.4) gemessen in Metern. Auf die Variable wird die Logarithmus-Transformation angewendet (*dist_wind*).

Untersuchungsperimeter

Der Untersuchungsperimeter fließt nicht direkt als Variable ins Modell ein, wird aber zur Einschränkung weiterer Modellvariablen verwendet (Projektphase, Anzahl sichtbarer Windenergieanlagen). Folgende Radien um jede Windenergieanlage werden getestet (abstützend auf „Windenergie Kanton Thurgau - Sichtbarkeitsanalyse“ (1.6.2017, Kanton Thurgau)):

- 2.5km
- 5km
- 10km

Projektphase

Durch das Jahr der Transaktion und der Zuordnung der nächstgelegenen Windenergieanlage ist auch der Zeitraum der Planungsphase und im Falle einer bestehenden Anlage auch jener der Betriebsphase bekannt (siehe Abschnitt 3.2).

Die Variable *phase_wind* zeigt damit an, ob eine Transaktion durch die Planungs- oder Betriebsphase der nächsten Windenergieanlage beeinflusst ist. Die kategoriale Variable kann die folgenden Ausprägungen annehmen:

- ausserhalb Projektphase (Referenzwert)
- innerhalb Planungsphase
- innerhalb Betriebsphase

Nur Transaktionen, die auch innerhalb des verwendeten Untersuchungsperimeters liegen (siehe oben), können die Ausprägungen „innerhalb Planungsphase“ oder „innerhalb Betriebsphase“ annehmen, sämtliche Transaktionen ausserhalb des Perimeters fallen in die Kategorie „ausserhalb Projektphase“.

Anzahl sichtbarer Windenergieanlagen

Für jede Transaktion wird geprüft, ob Sicht auf eine oder mehrere Windenergieanlagen besteht (siehe Abschnitt 3.3). Dabei wird die zum verwendeten Untersuchungsperimeter gehörende Sichtbarkeitsanalyse mit der entsprechenden Maximaldistanz angewendet. Die Variable *sicht_wind* bildet die Anzahl der sichtbaren Windenergieanlagen ab. Die Anzahl der sichtbaren Anlagen ist klassiert:

- keine sichtbaren Anlagen (0) (Referenzwert)
- Einzelanlage (1)
- Kleiner Windpark (2-5)
- Grosser Windpark (6+)

Nur im Untersuchungsperimeter liegende Transaktionen, die zeitlich innerhalb der Planungs- oder Betriebsphase liegen, können Sicht auf Windenergieanlagen haben. Allen Transaktionen ausserhalb des Perimeters und/oder der Projektphase wird die Kategorie „keine sichtbaren Anlagen (0)“ zugeordnet.

Abgrenzung der verwendeten Eingangsgrössen

Wie im Vorgehen (Abschnitt 1.4) am Anfang dieses Berichts erwähnt, fokussiert diese Untersuchung auf die Variable der Distanz einer Transaktion zu einer Windenergieanlage, da diese direkt messbar ist und für die meisten der möglichen Beeinträchtigungen gegebenenfalls einen Zusammenhang aufweist. Zusätzlich wird noch die Sichtbarkeit einbezogen. Für Variablen wie z.B. Lärm, Schattenwurf, Vibrationen oder Auswirkungen auf die Umwelt aufgrund von Windenergieanlagen

stehen entweder keine Datengrundlagen zur Verfügung oder sie können nicht quantifiziert werden. Deshalb beschränkt sich diese Untersuchung auf die oben beschriebenen Variablen.

4.1.2 Spezifikation der Regressionsmodelle

In der Untersuchung zum Preiseffekt von Windenergieanlagen wurden eine Vielzahl von Modellen mit unterschiedlichen Eingangsvariablen und Optionen berechnet und analysiert. Im Folgenden werden drei Varianten sowie das Grundmodell aufgeführt.

Grundmodell: Objekteigenschaften, Makrolage, Mikrolage

Das Grundmodell schätzt den Kaufpreis aus sämtlichen Variablen der Objekteigenschaften, der Makro- und der Mikrolage (siehe Tabelle 8 und Abbildung 2) und berücksichtigt keine Variablen, die eine Beeinflussung durch Windenergieanlagen quantifizieren. Das Grundmodell bildet die Basis für alle weiteren Modelle.

Modell 1: Grundmodell plus Distanz zu nächster Anlage und Projektphase

Dieses Modell ergänzt das oben beschriebene Grundmodell mit Variablen zur Beeinflussung durch Windenergieanlagen, einerseits der Distanz zur nächsten Windenergieanlage und andererseits der Projektphase. Die beiden Variablen werden im Modell interagiert, d.h., es wird noch je ein von der Betriebsphase abhängiger Effekt für die Distanz berechnet.

$$\text{kaufpr} \sim \text{Grundmodell} + \text{dist_wind} + \text{phase_wind} + \text{dist_wind:phase_wind}$$

Formel Modell 1

Modell 2: Modell 1 plus Anzahl sichtbarer Anlagen (ohne Interaktionsterm)

Modell 1 hat mit der Distanz zur nächsten Windenergieanlage keine Informationen zu den topographischen Begebenheiten am Standort der Transaktionen. Modell 2 ergänzt deshalb die Anzahl sichtbarer Windenergieanlagen.

$$\text{kaufpr} \sim \text{Grundmodell} + \text{dist_wind} + \text{phase_wind} + \text{sicht_wind}$$

Formel Modell 2

Modell 3: Grundmodell plus Anzahl sichtbarer Anlagen

Modell 3 berücksichtigt neben dem Grundmodell nur die Anzahl sichtbarer Windenergieanlagen im Untersuchungsperimeter (max. 5km). Die Variable *sicht_wind_kombi* kombiniert damit die Anzahl sichtbarer Anlagen mit der Betriebs-/Planungsphase und der Distanz.

$$\text{kaufpr} \sim \text{Grundmodell} + \text{sicht_wind_kombi}$$

Formel Modell 3

4.2 Modellresultate

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der im vorherigen Abschnitt 4.1 spezifizierten Modelle besprochen. Der Fokus liegt dabei auf den Effekten der Variablen, die einen Einfluss von Windenergieanlagen auf den Preis schätzen. Auf das Grundmodell wird nicht im Detail eingegangen.

Bei den Effekten bzw. den Koeffizienten der Variablen wurde die statistische Signifikanz jeweils mit den p-Werten geprüft. Wenn der p-Wert kleiner als ein defi-

nirtes Signifikanzniveau ist (z.B. 5%), wird er als statistisch signifikant bezeichnet. Neben dem p-Wert gibt es bei der Analyse der Modelle weitere Faktoren wie die Plausibilität von Betrag und Vorzeichen der Effekte, das Bestimmtheitsmass sowie die allgemeine Modellkonsistenz zu berücksichtigen.

Grundmodell

Im Grundmodell sind alle Variablen und Faktorausprägungen signifikant und durch Wüest Partner eingehend qualifiziert und validiert worden. Das Grundmodell erreicht mit den verwendeten Datengrundlagen ein sogenanntes Bestimmtheitsmass R^2 von 89.86%. Das bedeutet, dass das Modell knapp 90% der Streuung in den Daten zu erklären vermag. Bei den Modellen 1-3 ist neben den Effekten auch interessant, ob der Erklärungsgehalt (gemessen über das Bestimmtheitsmass R^2) gegenüber dem Grundmodell zunimmt. Dies wäre ein Hinweis darauf, dass im Grundmodell nicht-erklärte Streuung durch die zusätzlichen Variablen verbunden mit den Windenergieanlagen erklärt werden konnte.

| Perimeter | Standardabweichung | Freiheitsgrade | R^2_{adjusted} |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| - | 0.1738 | 61'020 | 0.8968 |

Tabelle 9
Güte des Grundmodells.

Modelle 1, 2 und 3

Der Effekt der Distanz zu einer Windenergieanlage ist in den Modellen 1 und 2 für alle Perimeter signifikant und zeigt plausible Grössenordnungen. Problematisch ist aber, dass dadurch die Variable *kt* (Kanton) im Grundmodell nicht mehr konstant ist, teilweise wechselt bei gewissen Faktoreffekten sogar das Vorzeichen, was ein Anzeichen für Multikollinearität⁶ im Modell ist. Möglicherweise wird mit der Distanz eine Art Zentralitätsfaktor abgebildet, der auch bereits in der Kantonsvariable enthalten ist, weil die Windenergieanlagen fast immer in recht peripheren Gebieten liegen oder geplant sind. Die Interpretation und Verwendung des Distanzeffektes ist unter Berücksichtigung der angezeigten Modellprobleme deshalb nicht sinnvoll und liefert keine belastbaren Aussagen über den Effekt der Nähe zu Windenergieanlagen.

Die Projektphase zeigt ebenfalls ein uneinheitliches Bild. Die Effekte sind mal positiv, mal negativ oder nicht signifikant. Sowohl die Effekte der Phase als auch der Distanz ergeben nicht nachvollziehbare und nicht-robuste Resultate. Sämtliche mit den Windenergieanlagen verbundenen Variablen zeigen statistische Inkonsistenzen auf.

Das Bestimmtheitsmass ist in den Modellen 1 und 2 für sämtliche Perimeter vergleichbar mit dem Grundmodell. Es ergibt sich also keine Verbesserung des Erklärungsgehalts durch die zusätzlichen Variablen trotz erhöhter Komplexität. Die festgestellten Modellprobleme und -inkonsistenzen sowie die fehlende Verbesserung der erklärten Varianz durch die zusätzlichen Modellvariablen verunmöglichen die Verwendung der Modelle 1 und 2 für die robuste Quantifizierung des Preiseffektes von Windenergieanlagen auf Einfamilienhäuser.

| Perimeter | Standardabweichung | Freiheitsgrade | R^2_{adjusted} |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 2.5km | 0.1736 | 61'033 | 0.8971 |
| 5km | 0.1736 | 61'034 | 0.8971 |
| 10km | 0.1735 | 61'029 | 0.8971 |

Tabelle 10
Güte des Modells 1.

⁶ Multikollinearität liegt vor, wenn mehrere Eingangsgrössen eines Regressionsmodells untereinander stark korreliert sind. Dies führt zu instabilen Schätzungen der Modellkoeffizienten und zu ungenauen Aussagen bezüglich deren Signifikanz.

| Perimeter | Standardabweichung | Freiheitsgrade | R ² _{adjusted} |
|-----------|--------------------|----------------|------------------------------------|
| 2.5km | 0.1735 | 61'027 | 0.8972 |
| 5km | 0.1736 | 61'039 | 0.8971 |
| 10km | 0.1736 | 61'038 | 0.8971 |

Tabelle 11
Güte des Modells 2.

Im Modell 3 mit der zweistufigen Sichtbarkeit (2.5km, 5km), sind die meisten Effekte der Faktorvariable *sicht_wind_kombi* signifikant. Nicht aber der Effekt des Perimeters 2.5km bei sichtbaren Einzelanlagen/kleiner Windpark. Die signifikanten Effekte sind alle negativ und zeigen Preisabschläge in einem plausiblen Bereich. Der Preisabschläge sinken mit steigender Distanz und abnehmender Grösse der Anlage. Allerdings ist auch in diesem Modell das Bestimmtheitsmass identisch mit jenem im Grundmodell. Obwohl dieses Modell mit diesen Spezifikationen grundsätzlich mehrheitlich nachvollziehbare Effekte zeigt, bringt es ausser grosserer Modellkomplexität im Vergleich mit dem Grundmodell keine bessere Erklärung der Streuung in den Daten. Auch sind nicht alle Effekte plausibel. Und das Modell ist alles andere als robust: wird eine minimale Spezifikation (bspw. des Perimeters oder der Kategorisierung der Anlagengrösse) verändert, können sämtliche Effekte divergieren. Das Modell 3 in seiner finalen Form ist das Optimum an Abschlägen, das erzielt werden konnte. Es genügt jedoch nicht den statistischen Anforderungen eines konsistenten, stabilen Preismodelles. Damit ist auch das Modell 3 nicht geeignet, verlässliche Aussagen zum Preiseffekt von Windenergieanlagen zu machen.

| Perimeter | Standardabweichung | Freiheitsgrade | R ² _{adjusted} |
|----------------------|--------------------|----------------|------------------------------------|
| 2.5km/5km kombiniert | 0.1738 | 61'016 | 0.8968 |

Tabelle 12
Güte des Modells 3.

5 Fazit

Nach der Datenaufbereitung wurden explorative Untersuchungen mit verschiedenen Spezifikationen der Variablen und der Modelle durchgeführt. Die Analysen liefern keine hinreichende empirische Evidenz für den Einfluss von Windenergieanlagen auf die Preise von Einfamilienhäusern. Sämtliche getesteten Modelle weisen Inkonsistenzen und Unplausibilitäten auf. Die zusätzlich Variablen zur Beeinflussung durch Windenergieanlagen liefern keinen wesentlichen zusätzlichen Erklärungsgehalt der Preise. Keines der erarbeiteten Modelle kann die Variabilität in den Daten substanziell besser erklären als das Grundmodell. Die Finalisierung eines robusten, zuverlässigen Modells zur Abschätzung der Preiswirkung durch Windenergieanlagen ist mit den aktuell zur Verfügung stehenden Datengrundlagen deshalb nicht sinnvoll. Mit der vorliegenden Untersuchung kann keine gesicherte, statistisch signifikante Preiseinwirkung von Windenergieanlagen auf Einfamilienhäuser nachgewiesen werden. Im Umkehrschluss lässt sich daraus allerdings nicht ableiten, dass es keine Preiswirkung gibt bzw. dass Windenergieanlagen keinen Einfluss auf Preise von Einfamilienhäusern haben. Wie im Modell 3 ermittelt werden konnte, sind durchaus Tendenzen zu preisvermindernden Effekten feststellbar.

Die möglichen Erklärungen, weshalb kein robustes Modell entwickelt werden konnte, sind vielschichtig. So sind zwar je nach Untersuchungsperimeter tatsächlich eine gewisse Anzahl an Transaktionen im möglichen Einflussbereich von Windenergieanlagen verfügbar. Die räumliche Verteilung und die Berücksichtigung der Sichtbarkeit relativieren diese Anzahl allerdings wiederum. Im verwendeten Datenpool sind nicht genügend Einfamilienhaus-Transaktionen im nahen Einflussbereich (0-2km) von Windenergieanlagen, um die Preiswirkung mit ausreichender statistischer Signifikanz nachweisen zu können. Im Umkreis von bestehenden Anlagen sind grundsätzlich sehr wenige Transaktionen verfügbar, weil die Windenergieanlagen in der Regel und regulatorisch bedingt recht weit entfernt vom Siedlungsgebiet und eher in den ländlichen, weniger dicht besiedelten Gebieten stehen. Die Wahrscheinlichkeit zur Beobachtung von effektiven Transaktionen mit Preiseffekten aufgrund von Windenergieanlagen ist deshalb recht gering. Vermutlich sind in der Schweiz aufgrund gesetzlicher und planerischer Bestimmungen erhebliche Immissionen durch Windenergieanlagen bisher grösstenteils ausgeschlossen. Dies hat die Analyse der monetären Auswirkungen auf den Immobilienmarkt möglicherweise erschwert. Die Distanzverteilung der Transaktionen zu den Windenergieanlagen in Abbildung 10 stützt diese Aussage.

In der vorliegenden Studie sind zudem deutlich mehr Daten im Bereich von projektierten bzw. geplanten als im Bereich von bestehenden Windenergieanlagen enthalten. Gemäss BFE haben nicht alle Projektträger der Verwendung der geplanten Projekte für die vorliegende Studie zugestimmt. Vermutlich sind so bereits in der Öffentlichkeit präsentierte Projekte nicht in die Modelle eingeflossen und haben die Untersuchung bei geplanten Projekten verwässert. Die Beeinflussung durch geplante Windenergieanlagen ist noch schwieriger zu quantifizieren als für bestehende, da durch den abwesenden Betrieb noch keine unmittelbaren physischen Beeinträchtigungen der Lagequalität vorhanden sind. Gleichzeitig existieren für die bestehenden Anlagen noch keine Erfahrungswerte zur Preiswirkung. Die Beeinträchtigung ist unter Umständen von der individuellen Einstellung zur Windenergie abhängig und eher von emotionalem Charakter durch den möglicherweise drohenden Wertverlust oder die mögliche Beeinträchtigung der Lagequalität. Mit der vorliegenden Datengrundlage ist dies schwierig zu beurteilen. Dass deswegen in betroffenen Gebieten eine höhere Transaktionstätigkeit resultiert, ist unwahrscheinlich.

Der initial vorgeschlagene Untersuchungsperimeter von 10km erscheint aufgrund der Analyse als zu grosszügig, da die stärksten Beeinträchtigungen durch den Betrieb von Windenergieanlagen wie etwa Lärm oder Schattenwurf nur innerhalb einer relativ kleinen Distanz wirksam sind. Dadurch, dass lediglich die Topographie bei der Sichtbarkeitsvariable berücksichtigt wurde, werden zudem Transaktionen mit Sichtbarkeit behaftet, welche in der Realität durch andere Einschränkungen (Bebauung, Bewaldung usw.) die Windenergieanlage nicht im Sichtfeld haben. Dadurch werden die statistischen Effekte abgeschwächt und verfälscht. Gemäss der Erfahrung von Wüest Partner können Faktoren wie die Störung der Aussicht oder des Landschaftsbildes zwar ebenfalls einen Einfluss auf den Preis einer Immobilie haben, allerdings nicht in vergleichbarem Ausmass zu starken physischen Beeinträchtigungen der Lagequalität in unmittelbarer Nähe wie z.B. Strassenlärm. Gerade diese lokalen Effekte auf die Mikrolage können vermutlich mit den verwendeten Modellvariablen nicht hinreichend abgebildet werden. Eine gewisse Modellverbesserung durch den Einbezug von räumlich fein aufgelösten Variablen

wie z.B. der Lärmbelastung, Schattenwurf, einer verbesserten Sichtbarkeitsanalyse oder Angaben zum subjektiven persönlichen Empfinden der Beeinträchtigung ist zu erwarten. Es ist aber aufgrund der angesprochenen Probleme keine Garantie für ein robustes und stabiles Modell gegeben. Im Vergleich mit den meisten bisherigen internationalen Studien wurden für diese Studie mehr preisrelevante Eigenschaften des Transaktionsobjektes berücksichtigt, wie z.B. zum Zustand oder Ausbaustandard. Deren Einfluss auf den Transaktionspreis kann damit kontrolliert und vom Einfluss einer Windenergieanlage unterschieden werden, was für die Qualität und statistischen Aussagekraft der vorliegenden Untersuchung spricht.

Aufgrund der Untersuchung ist nicht abschliessend feststellbar, ob sich der Preiseffekt aufgrund der verfügbaren Datenlage nicht manifestierte oder ob sich in den Transaktionen keine messbaren Hinweise darauf befinden. Die Wüest Partner zur Verfügung stehenden Transaktionen zeigen gemäss Abbildung 10, dass sie sowohl in Bezug auf die Distanz zu Windenergieanlagen als auch in Bezug auf den Planungsstatus letzterer eine repräsentative Grundlage für die Schweizer Einfamilienhäuser darstellen (Abbildung 11). Aufgrund der grossen Erfahrung von Wüest Partner im Bereich der hedonischen Methode und in der Modellierung von Preiseffekten in ähnlichen Fragestellungen kann davon ausgegangen werden, dass mit der verwendeten Methodik und den Datengrundlagen der Einfluss gefunden werden könnte, falls sich denn ein solcher Preiseffekt bei Einfamilienhäusern manifestiert und dieser in einer für die Grundgesamtheit repräsentativen Stichprobe der Einfamilienhaus-Transaktionen auch quantifizierbar ist. Die Datengrundlage der Windenergieanlagen in Bezug auf die Verfügbarkeit und der Phase (sehr beschränkte Anzahl Anlagen in Betrieb) führt jedoch zu einer extremen Reduktion der betroffenen Transaktionen.

In den verschiedenen Modellen sind sowohl negative als auch teilweise positive signifikante Preiseffekte feststellbar. Da diese Effekte je nach Untersuchungsparameter und Modellvariante nicht stabil und je nach Ausprägung nicht plausibel sind, ist ein Entscheid für eine Modellvariante zur Finalisierung als Preismodell aus fachlicher Sicht nicht möglich. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus den meisten bisherigen internationalen Untersuchungen in diesem Themenbereich.

6 Literatur

Banque Cantonale Vaudoise (BCV) (2012): De l'incidence des éoliennes sur les prix de l'immobilier à proximité. Revue de la littérature. Document de travail de l'Observatoire BDV de l'économie vaudoise.

Dent, P. und Sims, S. (2007): Property stigma: wind farms are just the latest fashion. In: Journal of Property Investment and Finance, 25 (5), S. 626-651.

Gibbons, S. (2014): Gone with the Wind: Valuing the Visual Impacts of Wind turbines through House Prices. SERC Discussion Paper 159, Spatial Economics Research Centre, London School of Economics.

Haase, R. (2011): Ertragspotenziale – Hedonische Mietpreismodellierungen am Beispiel von Büroimmobilien. Dissertation ETH Zürich.

Heintzelman, M. und Tuttle, C. (2012): Values in the Wind: A hedonic Analysis of Wind Power Facilities. In: Land Economics, 88 (3), S. 571-588.

Hoen, B., Brown, J., Jackson, T., Wiser R., Thayer, M. und Cappers, P. (2013): A Spatial Hedonic Analysis of the Effects of Wind Energy Facilities on Surrounding Property Values in the United States, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Wind and Water Power Technology Office, US Department of Energy, Washington DC.

Heblich, S., Olnér, D., Pryce, G. und Timmins, C. (2016): Impact of wind turbines on house prices in Scotland. University of Sheffield, on behalf of ClimateXChange.

Lancaster, K. J. (1966): A new approach to consumer theory. In: Journal of Political Economy, 74 (2), S. 132-157.

Rosen, S. (1974): Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. In: Journal of Political Economy, 82 (1), S. 34-55.

Sunak Y. und Madlener, R. (2014): Local Impacts of Wind Farms on Property Values: A spatial Difference-in-Differences Analysis, FCN Working Paper No. 1/2014, Institute for Future Energy Consumer Needs and Behaviour (FCN), Aachen, Germany.