

Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen

Abschlussbericht zum BMU-Forschungsvorhaben (FKZ: 03MAP134)

Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen

Abschlussbericht zum BMU-Forschungsvorhaben (FKZ: 03MAP134)



PD Dr. Gundula Hübner & Dr. Johannes Pohl
Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg
Institut für Psychologie
Brandbergweg 23c
06120 Halle (Saale)

Unter Mitarbeit von Anja Mohs, Steffi Brecke und Stefan Schröpfer



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



Landesamt für
Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume
Schleswig-Holstein

Die Studie wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein.

Halle, den 30.4.2010

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1	6	Transfer-Workshop	22	
1	Ausgangssituation	2	6.1	Hintergrund und Teilnehmer	22
2	Untersuchungsansatz der Umwelt- und Stresspsychologie	3	6.2	Stellungnahmen der Podiumsexperten	23
2.1	Lichtreize als Stressoren	3	6.3	Fazit	24
2.2	Prüfindikatoren für die Umweltverträglichkeit von Lichtreizen einer WEA	3	7	Empfehlungen	25
2.2.1	Stressindikatoren	3	8	Literatur	28
2.2.2	Einflussfaktoren auf die Stresseffekte	4	9	Vorträge und Außendarstellung	30
2.2.3	Kontrollgrößen	5		Anhang (Ergebnistabellen als gesonderter Band)	
3	Fragestellungen und Untersuchungsplan	6			
3.1	Fragestellungen	6			
3.2	Untersuchungsplan	6			
4	Methoden	7			
4.1	Auswahl der Untersuchungsorte	7			
4.2	Untersuchungsmethode und Teilnehmer	8			
4.3	Auswertung und statistische Methoden	9			
5	Ergebnisse	11			
5.1	Tageskennzeichnung	11			
5.1.1	Wahrnehmung	11			
5.1.2	Globale Bewertung	11			
5.1.3	Belästigung	11			
5.1.4	Aufmerksamkeit, psychische und körperliche Befindlichkeit	12			
5.1.5	Verhalten	13			
5.1.6	Stressbewältigung	14			
5.1.7	WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung	14			
5.2	Tages- vs. Nachtkennzeichnung	16			
5.2.1	Wahrnehmung	16			
5.2.2	Gesamtbewertung	16			
5.2.3	Belästigung	16			
5.3	Synchronisation	17			
5.3.1	Wahrnehmung	17			
5.3.2	Gesamtbewertung und Belästigung	17			
5.3.3	Weitere Stressindikatoren	17			
5.3.4	WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Synchronisation	18			
5.4	Sichtweitenregulierung	18			
5.4.1	Wahrnehmung	18			
5.4.2	Gesamtbewertung und Belästigung	18			
5.4.3	Weitere Stressindikatoren	19			
5.4.4	WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Sichtweitenregulierung	19			
5.5	Stark belästigte Personen	19			
5.6	Einflussfaktoren	20			
5.7	HK-Wünsche	20			
5.8	Belästigung durch HK im Vergleich zu anderen WEA-Emissionen	20			

Zusammenfassung

Zunehmend werden Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamthöhe von mehr als 100 m errichtet. Entsprechend steigt der Anteil kennzeichnungspflichtiger Anlagen. Die Kennzeichnung erweist sich im Hinblick auf die Akzeptanz der Anwohner von Windparks (WP) jedoch als teilweise problematisch, Anwohnerbeschwerden liegen vor. Bislang gibt es keine Untersuchungen zu möglichen Stresswirkungen der Kennzeichnung. Das Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, PD Dr. Gundula Hübner und Dr. Johannes Pohl, führte eine Studie zur Akzeptanz der Hinderniskennzeichnung (HK) von WEA durch, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein.

Unter Anwendung der Methodik der Umwelt- und Stresspsychologie wurden folgende Fragestellungen untersucht:

1. Vergleich von drei Tageskennzeichnungen (Xenon, LED, Farbkennzeichnung der Rotorblätter),
2. Vergleich von HK mit und ohne Synchronisation,
3. Vergleich der Tages- und Nachtkennzeichnung,
4. Vergleich von HK in einfacher und komplexer Umgebung,
5. Vergleich von HK mit und ohne Sichtweitenregulierung (SWR),
6. Merkmale von stark belästigten Personen.

Befragt wurden 420 Anwohner von 13 WP mit direkter Sicht auf die WEA eines Parks. Der Fragebogen enthielt 590 Fragen zu Stresswirkungen und zur Akzeptanz des örtlichen WP sowie der Erneuerbaren Energien.

In der Gesamtschau der Befunde zu den Stressindikatoren lässt sich keine erhebliche Belästigung durch die HK konstatieren. Zwar zeigten sich im Durchschnitt geringe Stresseffekte und das WP-Landschaftsbild und WP-Geräusche wurden im Vergleich als stärker belästigend empfunden. Eine differenzierte Analyse weist jedoch auf sehr belästigende Bedingungen hin, aus denen sich Handlungsbedarf ableitet. So ist hervorzuheben, dass die Nachtkennzeichnung bei bestimmten Wetterlagen – wie wolkenloser Nacht – zum Problemfall wird und stark belästigt. Zudem führte die Xenon-Kennzeichnung zu deutlich stärkeren und breiteren Stresseffekten als LED oder farblich gekennzeichnete Rotorblätter. Der Einsatz von Xenon wirkt sich zudem

negativ auf die allgemeine Akzeptanz der Windenergie aus, die bei Anwohnern mit Xenon gekennzeichneten WP deutlich reduziert war. Synchronisierte WEA belästigten bei bestimmten Wetterlagen weniger als nicht synchronisierte, ebenso erwies sich die SWR insgesamt als vorteilhaft. Anwohner ohne SWR ergriffen relativ häufiger ernstzunehmende Maßnahmen zur Stressreduktion. Fehlende SWR wirkt sich zudem in einfacher Umgebung negativ aus: Die HK nicht sichtweitenregulierter WP in einfacher Umgebung bewirkte langfristig eine stärkere Zunahme der Belästigung als die in komplexer Umgebung. Hervorzuheben ist ebenfalls, dass Belastungen während der Planungs- und Bauphase des WP die spätere Belästigung durch die HK erhöhten.

Obwohl insgesamt keine erhebliche Belästigung festgestellt wurde, fanden sich in der Gesamtstichprobe 16 % stark belästigte Personen. Diese waren häufiger als andere gesundheitlich vorbelastet; ihre Beschwerden sind ernst zu nehmen. Insgesamt wünschten sich die befragten WP-Anwohner eine geringere Helligkeit der HK, Synchronisation bzw. eine bedarfsgerechte Befeuerung.

Zur Verringerung der Belastungen für die Anwohner und zur Steigerung der Akzeptanz der Windenergie werden folgende Maßnahmen empfohlen: Verzicht auf den Einsatz der Xenon-Befeuerung, Synchronisation, SWR, belastungsfreiere Planungs- und Bauphase und Zulassung der bedarfsgerechten Befeuerung.

1 Ausgangssituation

Im Interesse des Klima- und Umweltschutzes wird in den letzten Jahren zunehmend eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung angestrebt. Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung mindestens 30 % betragen und darüber hinaus kontinuierlich gesteigert werden (BMU, 2009; Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, 2008). Zu den Erneuerbaren Energien gehört die Windenergie.

Zur effizienteren Windenergienutzung werden seit einigen Jahren zunehmend Windenergieanlagen (WEA) von mehr als 100 m Gesamthöhe errichtet. Entsprechend steigt der Anteil von Anlagen, welche der Kennzeichnungspflicht nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“ (Bundesanzeiger, 2007; BMVBS, 2007) unterliegen. Für die notwendige Nachtkennzeichnung dürfen in Deutschland nur rote Feuer verwendet werden. Die Tageskennzeichnung darf dagegen über farbige Markierungen der Rotorblätter und/oder weiße Feuer erfolgen.

Die Belästigung durch HK ist vermehrt Gegenstand behördlicher Beschwerden durch WP-Anwohner. So liegen beispielsweise nach Angaben des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein Beschwerden von Anwohnern über die nächtliche rote Befeuerung vor (Kunte, 2008, 2009). Häufiger jedoch sind Beschwerden über weiße Lichtblitze am Tag. In Brandenburg führten Anwohnerbeschwerden über weiße Lichtblitze zu einer umweltmedizinischen Stellungnahme des Landesgesundheitsamtes Brandenburg (Nowak, 2006). Die Behörde wies darauf hin, dass bislang keine rechtsverbindlichen Vorschriften zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen der genannten Kennzeichnungsart vorliegen. Weiterhin ist unklar, ob bzw. unter welchen Bedingungen Handlungsbedarf i. S. des Immissionsschutzes und ggf. in Hinblick auf die Entwicklung angemessener Richtlinien besteht.

Um einen Beitrag zur Klärung der genannten Fragen zu leisten, führten wir im Rahmen der Phase 2 des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten HiWUS-Projekts „Befeuerungsdesign für Windenergieanlagenparks und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen“ eine Literaturrecherche zu empirischen Stresswirkungsanalysen von Befeuerungssystemen durch (HiWUS, 2008). Im Ergebnis zeigte sich ein ungenügender Forschungsstand zur Stresswirkung von WEA-HK, empirische Untersuchungen fehlten bislang (Pohl & Hübner, 2008a, b).

Entsprechend war die Lästigkeit von Befeuerungsanlagen bisher nicht objektiv beurteilbar.

Es gilt die zentrale Frage zu klären, welche HK von WEA bei gegebener Sicherheit des Luft- und Schiffsverkehrs am umweltverträglichsten ist und die größte Akzeptanz findet. Die Frage der Umweltverträglichkeit wird dabei bezogen auf das Schutzzut Mensch. Ergebnisse zur Stresswirkung anderer Lichtquellen machen deutlich, dass in der Regel keine einfache Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Lichtemission und Belästigung besteht. Vielmehr scheint das Ausmaß der Belästigung z. B. durch die Reizart (konstantes Licht vs. wechselnde Reize), durch soziodemographische Variablen (Wohndauer, Schulbildung) und psychologische Variablen (Vertrautheit mit der Lichtquelle, Gesundheitssorgen) beeinflusst zu sein (Pohl & Hübner, 2008a). Um die Stresswirkung der WEA-HK erfassen zu können, wurden diese Faktoren in der vorliegenden Studie berücksichtigt, die auf Ansätzen der Umwelt- und Stresspsychologie basiert.

In den folgenden Kapiteln 2 bis 4 werden die wissenschaftlichen Grundlagen des gewählten umwelt- und stresspsychologischen Ansatzes sowie die erhobenen Stressindikatoren und das methodische Vorgehen vorgestellt. Das Verständnis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse und der abgeleiteten Empfehlungen setzt die Lektüre dieser Kapitel nicht zwangsläufig voraus, erlaubt aber Interessierten, die Ergebnisse und deren Interpretation vertiefend nachzuvollziehen.

2 Untersuchungsansatz der Umwelt- und Stresspsychologie

2.1 Lichtreize als Stressoren

Aus psychologischer Sicht können periodische Lichtsignale, wie z. B. die einer WEA-HK, unter bestimmten Bedingungen als Stressoren wirken. Periodische Lichtsignale sind Reize, die unter natürlichen Bedingungen äußerst selten vorkommen. Aufgrund dieser Seltenheit ist zu vermuten, dass der Mensch evolutionär nicht auf solche Reize vorbereitet ist. Treten diese im Gesichtsfeld auf, insbesondere im peripheren, so kommt es zu einer unwillkürlichen oder willkürlichen Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Richtung der wahrgenommenen Lichtquelle. Periodische Lichtsignale bewirken also eine Bindung der Aufmerksamkeit, was zur Ablenkung von momentanen Tätigkeiten führen kann. Um die Aufmerksamkeit weiterhin auf die Ausführung der Aufgabe fokussieren zu können, muss zusätzliche Energie aufgewandt werden. Dieser gesamte Vorgang kann je nach seiner Intensität zu einer Funktionsänderung (Auslenkung) verschiedener psychischer und somatischer Systeme führen und damit Stress auslösen.

Bei der Untersuchung eines Umweltstressors ist die zentrale Frage, bis zu welcher Intensität eine Belästigung zumutbar ist. Vom Begriff der „zumutbaren Belästigung“ ist der Begriff „erhebliche Belästigung“ bzw. „unzumutbare Belästigung“ abzugrenzen. Aus juristischer Sicht liegt eine erhebliche Belästigung vor, wenn körperliches und psychisches Wohlbefinden sowie die Arbeitsfähigkeit beeinträchtigt werden. Dabei wird die Grenze des üblichen oder zumutbaren Maßes nach Art, Ausmaß oder Dauer überschritten bzw. als unzumutbar beurteilt. Als oberste Grenze wird das Auftreten gesundheitlicher Schäden bei einer betroffenen Person betrachtet. Entscheidend ist nicht das Empfinden einer Einzelperson, sondern das Empfinden eines Durchschnittsmenschen, eines repräsentativen verständigen Bürgers in vergleichbarer Lage. Im Interessenausgleich soll ein Maßstab gefunden werden, der der Allgemeinheit und der einzelnen Person billigerweise zugemutet werden kann (BlmSchG, 1998; Feldhaus, 1999).

Um eine fundierte Gesamtbeurteilung der Umweltverträglichkeit zu ermöglichen, sind aus psychologischer Sicht differenzierte Indikatoren zu untersuchen. Es genügt daher nicht, nach dem Grad der subjektiven Belästigung zu fragen. Vielmehr ist zu prüfen, mit welchen Beeinträchtigungen im Erleben und Verhalten ein bestimmtes Ausmaß an Belästigung einhergeht. Die methodischen Ansätze hierzu stammen aus der Wahrnehmungs-, Stress-

und Umweltpsychologie und wurden bereits in einer Studie zur Belästigung durch periodischen Schattenwurf von WEA erfolgreich eingesetzt (Pohl, Faul & Mausfeld, 1999; 2000).

Nach diesen Ansätzen geht es um folgendes Geschehen (Hellbrück & Fischer, 1999; Homburg & Matthies, 1998; Janke & Wolffgramm, 1995; Ruff, 1993): Ein physikalischer Reiz mit definierten Merkmalen wirkt auf die Person ein. Diese Einwirkung führt zu einer Gesamtbewertung des Reizes in Hinblick auf seine Unangenehmheit, Bedrohlichkeit und Schädlichkeit. Der Reiz selbst führt zu einer Funktionsänderung (Auslenkung) des momentanen psychischen und somatischen Zustandes. Zum psychischen Zustand gehören ausgelöste Gefühle und Kognitionen, beabsichtigtes und ausgeführtes Verhalten. Stärke und Richtung der Auslenkung sind auch abhängig von weiteren Einflüssen, sog. Moderatorvariablen, wie z. B. Einstellungen oder Erfahrungen. Die betroffene Person bzw. der betroffene Organismus hat die Tendenz, den ausgelenkten Zustand wieder zur Normallage zurückzubringen. Dies geschieht im Rahmen von Bewältigungsprozessen durch Regulation von Emotionen, Verhalten und physiologischen Prozessen. Gelingt bei wiederholter Stresseinwirkung die Rückkehr zur Normallage nicht (Anpassung), so kann die dauerhafte Auslenkung zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Schäden führen.

Beim Stressgeschehen handelt es sich aufgrund von Bewältigungs- und Adaptationsvorgängen um einen dynamischen Prozess, wobei Rückkopplungen der einzelnen Teilkomponenten untereinander zu berücksichtigen sind; es handelt sich also nicht um eine einfache Reiz-Reaktionskette.

Zusammengefasst wird die Wirkung eines Umweltstressors daraufhin untersucht, inwieweit er Intensität und Breite von psychischem und körperlichem Wohlbefinden, Handeln, Bewältigung und Adaptationsfähigkeit beeinträchtigt.

2.2 Prüfindikatoren für die Umweltverträglichkeit von Lichtreizen einer WEA

2.2.1 Stressindikatoren

Gesamtwirkung: Durch Einschätzung der Angenehmheit, Bedrohlichkeit, Schädlichkeit sowie bestimmter Vor- und Nachteile der Tages- und Nacht-kennzeichnung sollte die globale Wirkung der HK erfasst werden. Vergleichbare Fragen richteten sich auf die Bewertung des gesamten WP.

Belästigung: Analysiert wurde zunächst, ob insgesamt eine Belästigung/Beeinträchtigung durch den

WP besteht. Anschließend wurde erfasst, welche HK bewusst wahrgenommen werden und ob diese belästigend wirken. Für eine detailliertere Erfassung der Belästigung wurde erhoben, welche physikalischen Reizmerkmale als besonders belästigend empfunden und am meisten beachtet werden (Aufmerksamkeitsbindung). Weiterhin geschah die differenzierte Beschreibung der Belästigung mit Variablen zur Intensität, zum Zeitpunkt (z. B. Tages-, Jahreszeit) und Aufenthaltsort. Berücksichtigt wurde auch, inwieweit die Belästigung von Wetterbedingungen abhängig ist. Um eine mögliche Sensibilisierung durch oder Gewöhnung an die HK zu erfassen, wurde die Prüfgröße „Veränderung der Intensität über die Jahre“ eingeführt.

Für eine Gesamtbeurteilung der Belästigung durch WEA war es wichtig, die Belästigung im Vergleich zu anderen Umweltobjekten wie z. B. „Flughafen“ oder „Mülldeponie mit Geruchsbildung“ zu ermitteln. Damit Aussagen zur Spezifität der Belästigung durch die HK in Relation zu den anderen potentiellen Stressoren einer WEA gemacht werden können, wurde die Belästigung durch die HK auch direkt mit der Belästigung durch Geräusche/Lärm, Schattenwurf und der visuellen Wirkung der WEA in der Landschaft verglichen.

Aufmerksamkeit: Gefragt wurde, inwieweit die HK zur Ablenkung führt und Aufmerksamkeit bindet.

Befinden: Zentrale erhobene Variablen des Erlebens sind solche, in denen die Befragten Veränderungen im körperlichen und psychischen Befinden auf die HK bzw. den WP als Ganzen zurückführten. Die 35 Fragen zur Befindlichkeit bezogen sich u. a. auf die allgemeine Leistungsfähigkeit, Gefühle, Stimmungen, körperliche Beschwerden wie z. B. Schwindel, Übelkeit, Kopfschmerzen, Kreislaufbeschwerden und Schlafprobleme. Weiterhin wurde erhoben, ob der WP ein Gesundheitsrisiko darstellt und sich durch ihn die Lebensqualität verändert hat.

Verhalten: Dem möglichen Einfluss der Lichtemission auf das Verhalten im Alltag wurde durch Fragen zu veränderten Aufenthaltszeiten an bestimmten Orten und zum Ausmaß von Störungen, z. B. durch Ablenkung bei Arbeiten/Tätigkeiten im Haus und im Freien sowie bei Freizeitaktivitäten nachgegangen. Zu diesem Bereich gehören auch Beeinträchtigungen beim Autofahren. Aus Vergleichsgründen gab es Items mit gleichem Inhalt bezogen auf die WEA-Geräusche.

Bewältigung: Mit Hilfe von Variablen aus dem Bereich der emotional-kognitiven Bewältigung wurde untersucht, wie die belästigten Personen ihre Emotionen regulieren, um der Situation begegnen zu können. Typische Reaktionen bei Dauerbelastung

sind z. B. Gefühl des Ausgeliefertseins, Resignation oder auch Bagatellisierung. Auch vermutete Einflüsse des WP auf die wirtschaftliche und finanzielle Situation, z. B. befürchteter Wertverlust des Grundstücks, wurden geprüft.

Unter problemorientierter Bewältigung sind Maßnahmen zu verstehen, die die belästigte Person durchführt, um die physikalische Reizintensität zu reduzieren oder die Wirkungen des Stressors zu mindern oder zu beseitigen. Hierzu gehören z. B. „bauliche Veränderungen“, „Einnahme von Genussmitteln/Medikamenten“, „Beschaffung von Informationen“, „Beschwerden“, „Einleiten juristischer Schritte“ und das Durchführen von Aktionen wie z. B. „Protestbriefe schreiben“ oder möglicher Umzug. Über die eigenen Handlungsmöglichkeiten zur Veränderung der Stresssituation hinausgehende Absichten wurden als Wünsche der Betroffenen registriert.

Zur breiteren Beurteilung der Gesamtwirkung des WP wurde nach der allgemeinen Einstellung zur Windenergie und nach Veränderung des Vertrauens in Behörden/Betreiber, des Heimatgefühls sowie von Konflikten in der Gemeinde gefragt.

2.2.2 Einflussfaktoren auf die Stresseffekte

Als wichtige Moderatorvariablen, also Faktoren, die die Beziehung zwischen physikalischem Umweltreiz und psychischer Wirkung verstärken oder abschwächen, wurde eine Reihe von Variablen erhoben.

Einstellungen: Aus der Stressforschung ist bekannt, dass die Einstellung zur Emissionsquelle (hier zur WEA) die Effekte des Stressors beeinflussen kann. Pohl und Kollegen (1999) konnten zeigen, dass die „finanzielle Beteiligung an WEA“ ein wirksamer Moderator für die Belästigung durch periodischen Schattenwurf darstellt. Positive und negative Gedanken zum örtlichen WP wurden verknüpft, um eine mögliche ambivalente Haltung zu eruieren (Ambivalenzmaß nach Thompson, Zanna & Griffin, 1995).

Soziodemographische Merkmale: Auch soziodemographische Größen wie Alter, Schulbildung und Wohndauer könnten die Verträglichkeit beeinflussen. So erwies sich die Wohndauer für die Belästigung durch Lichtemissionen von Gewächshäusern als bedeutsamer Moderator (van Oel et al., 2007).

Psychische und körperliche Belastungen: Zu den allgemeinen Moderatoren für Stresseffekte, ohne Bezug zur WEA, zählen die akute und chronische Belastung durch Alltagsstressoren bzw. lang anhaltende Stresssituationen sowie die eingeschätzte Gesundheit. Zu berücksichtigen sind auch akute und chro-

nische psychische oder somatische Erkrankungen.

Ein wichtiger Moderator bei Umweltstressoren scheint auch das Persönlichkeitsmerkmal „Neurotizismus/emotionale Labilität“ zu sein (Österberg et al., 2007, Schreckenberg & Felscher-Suhr, 2003). Zum Einsatz kam die Kurzskala „Neurotizismus“ des NEO-FFI (Borkenau & Ostendorf, 1993; Trautwein, 2004).

Auch ein Maß für die allgemeine Lichtempfindlichkeit wurde berücksichtigt. Hierzu wurden einige Items aus Fragebögen von Bossini et al. (2005) und Gerbaldo et al. (1997) verwendet. Dies geschah in Analogie zur Lärmforschung, in der die Lärmempfindlichkeit als einer der bedeutendsten Moderatoren identifiziert und durch mehrere Metaanalysen bestätigt werden konnte (Fields, 1993; Job, 1988; Miedema & Vos, 1999). Da es auch Fragen zu den Stresswirkungen der WEA-Geräusche gab, wurde eine Lärmempfindlichkeitsskala eingesetzt. Dazu wurden sechs Items aus Fragebögen von Zimmer und Ellermeier (1997, 1998) ausgewählt.

Im Sinne einer allgemeinen Vorbelastung wurde nach Erfahrungen mit verschiedenen Umweltstressoren gefragt, auch mit der Belastung während der Planungs- und Bauphase des WP (für die Berücksichtigung dieses Vorgehens in der Lärmforschung siehe Schreckenberg & Felscher-Suhr, 2003).

2.2.3 Kontrollgrößen

Um die Ergebnisse verschiedener WP vergleichen zu können, wurden folgende Einflussgrößen kontrolliert:

- WP-Betriebsdauer
- WP-Größe (= gleiche Anzahl der WEA)
- Gesamthöhe der WEA
- Abstand des Anwohners zum WP

Der Abstrahlwinkel der Lichtsignale bzw. die objektive Lichtstärke im jeweiligen Abstrahlwinkelbereich konnten nicht kontrolliert werden, da hierüber keine Informationen vorlagen.

3 Fragestellungen und Untersuchungsplan

3.1 Fragestellungen

Das zentrale Anliegen war, die Akzeptanz und Stresswirkung verschiedener Arten von HK auf das Erleben und Verhalten von WP-Anwohnern in einfacher (z. B. Flachland) und komplexer Umgebung (z. B. hügelige Landschaft) zu vergleichen. Durchgeführt wurden folgende Analysen:

1. Vergleich von drei Tageskennzeichnungen (Xenon, LED, Farbkennzeichnung der Rotorblätter),
2. Vergleich von HK mit und ohne Synchronisation,
3. Vergleich der Tages- und Nachtkennzeichnung,
4. Vergleich von HK in einfacher und komplexer Umgebung,
5. Vergleich von HK mit und ohne SWR,
6. Merkmale von stark belastigten Personen.

3.2 Untersuchungsplan

Geprüft wurden drei verschiedene Tageskennzeichnungen: Xenon, LED, farbliche Kennzeichnung der Rotorblätter (FK-RB). Bei der Nachtkennzeichnung wurde Feuer W, rot und rotes Gefahrenfeuer berücksichtigt.

Zur Klärung der Fragestellungen waren zwei Pläne nötig. Der erste stellt die Überprüfung der Wirkung der verschiedenen Tageskennzeichnungsarten in Kombination mit den beiden Standortmöglichkeiten dar (siehe **Tabelle 3/1**). Für diese Untersuchung wurden synchronisierte WP mit SWR und Feuer W, rot berücksichtigt.

Tabelle 3/1: Prüfung Tageskennzeichnungen in einfacher und komplexer Umgebung

	<i>Xenon</i>	<i>LED</i>	<i>Farbkennzeichnung der Rotorblätter</i>
<i>einfache Umgebung</i>	Niedersachsen Brandenburg (50)	Schleswig-Holstein (57)	Bremen Schleswig-Holstein (61)
<i>komplexe Umgebung</i>	Sachsen (38)	Bremen (38)	Rheinland-Pfalz (37)

Anmerkung: Genannt sind die Bundesländer der WP-Standorte und Anzahl der für die Auswertung berücksichtigten Probanden in Klammern.

Der zweite Plan diente zur Untersuchung der Synchronisation (**Tabelle 3/2**). Die einbezogenen WP sollten am Tag mit weißen Xenon-Lampen oder weißen LED und nachts entweder mit Feuer W, rot oder rotem Gefahrenfeuer gekennzeichnet sein. Ursprünglich war vorgesehen, auch für diesen Plan nur WP mit SWR zu berücksichtigen. Bei der Recherche nach geeigneten WP konnten jedoch keine sichtweitenregulierten Windfarmen ohne Synchronisation gefunden werden. Die Wirkung synchronisierter HK im Vergleich mit nicht-synchronisierten wurde daher an WP ohne SWR untersucht.

Tabelle 3/2: Prüfung der Synchronisation von WP in einfacher und komplexer Umgebung

	<i>ohne Synchronisation</i>	<i>mit Synchronisation LED</i>
<i>einfache Umgebung</i>	2 x Brandenburg (35)	Niedersachsen (36)
<i>komplexe Umgebung</i>	Thüringen (36)	Sachsen (32)

Anmerkung: Jeder WP war nicht sichtweitenreguliert und hatte Xenon-Lampen oder weiße LED als Tageskennzeichnung und Feuer W, rot oder rotes Gefahrenfeuer als Nachtkennzeichnung. Genannt sind die Bundesländer der WP-Standorte und Anzahl der für die Auswertung berücksichtigten Probanden in Klammern.

4 Methoden

4.1 Auswahl der Untersuchungsorte

Die WP wurden anhand der festgelegten Kriterien ausgewählt. Ausgangspunkt für die Suche geeigneter WP war der Kontakt zu Genehmigungsbehörden, Luftsicherheitsbehörden, Planungsbüros und dem Bundesverband WindEnergie (BWE). Entgegen den Vorinformationen und auch unerwartet für die Experten erhielten wir durch dieses Vorgehen nicht die notwendigen Informationen, insbesondere über die technischen Spezifikationen entsprechender WP (Art der HK, SWR, Synchronisation). Es fehlen frei zugängliche Datenbanken, die alle WP in Deutschland mit deren technischen Spezifikationen insbesondere zur HK auflisten. Verzeichnisse, wie beispielsweise die Betreiber-Datenbasis (www.btrdb.de), bieten nicht genügend Informationen, um eine erfolgreiche Recherche durchzuführen. Hier sind meist nur die Standorte einzelner WEA sowie deren Leistungsstatistik gelistet, was hinsichtlich der zu erfüllenden Kriterien nicht erschöpfend ist. Aus diesem Grund wurde die WP-Suche deutlich aufwendiger und es wurden verschiedene Schritte notwendig:

- Betreibergesellschaften, Geschäftsführer, Beteiligungsgesellschaften und Eigentümer wurden kontaktiert. Hierzu erfolgte eine ausgiebige Suche über das Internet bzw. über einschlägig Fachzeitschriften.
- Auf der HUSUM WindEnergie 2008, der internationalen Leitmesse für Windenergie, wurde direkter Kontakt zu Betreiberfirmen aufgenommen.
- Hersteller und Lieferanten von WEA sowie von HK und Sichtweitenmessgeräten wurden kontaktiert.
- Es wurde ein Aufruf zur Unterstützung der Studie im Newsletter „BWEintern“ (12/2008) geschaltet, der jedoch ohne Resonanz blieb.

Die Recherche nach geeigneten WP erwies sich als ein unvorhersehbar aufwendiges Unterfangen. Die Suche nach Ansprechpartnern, die zu leistende Überzeugungsarbeit für eine Kooperation bzw. die Gewinnung der benötigten Informationen zu WP war sehr mühevoll und zeitaufwändig. Besonders die Suche nach WP mit SWR und/oder Tagesbefeu- rung war schwierig (**Abbildung 4/1**).

Viele Firmen hatten keine SWR verbaut. Meist setzten sie zudem bei der Tageskennzeichnung nur auf die FK-RB. So war ein hoher zeitlicher und personeller Aufwand nötig, um die WP zu finden, die am Ende in die Studie eingeschlossen wurden.

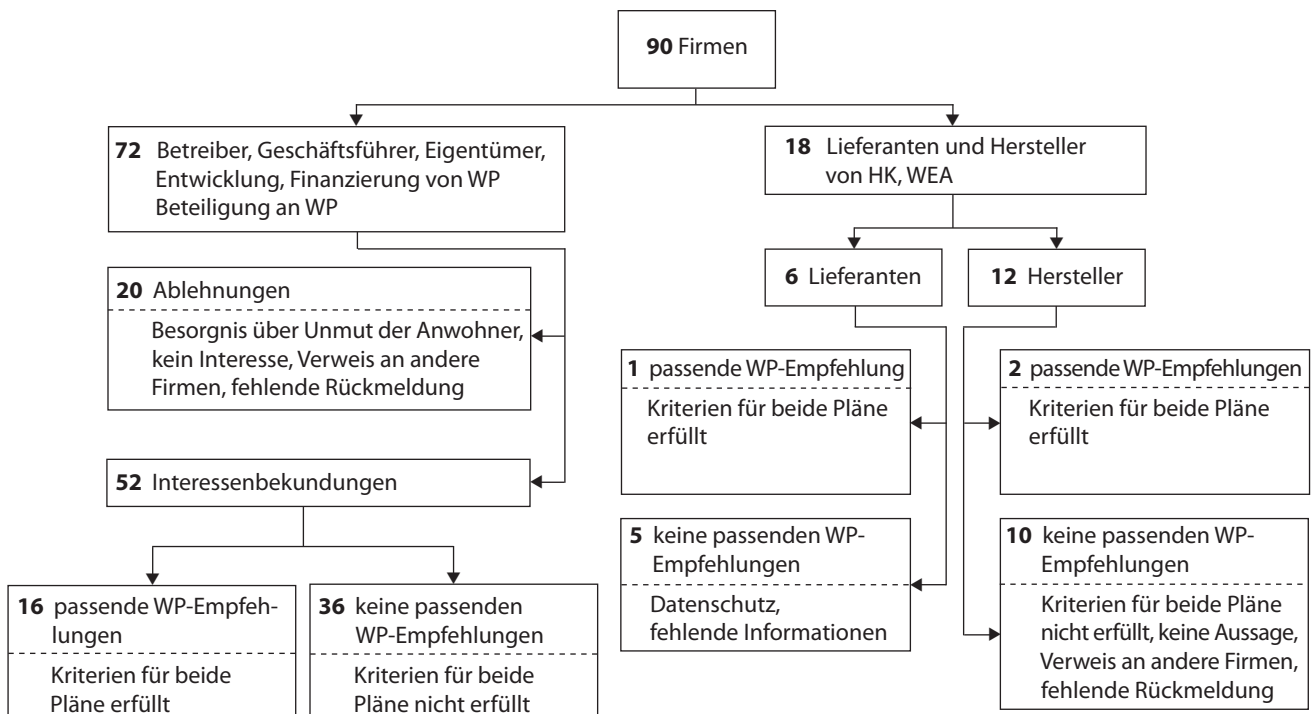


Abbildung 4/1: Suche nach geeigneten WP bei 90 Firmen

4.2 Untersuchungsmethode und Teilnehmer

Die Untersuchung wurde als Fragebogenerhebung bei WP-Anwohnern durchgeführt. Einbezogen wurden ausschließlich Anwohner mit Sicht auf den WP. Eine Fragebogenerhebung erlaubt im Gegensatz z.B. zu Telefoninterviews eine umfangreichere Erfassung der in Kapitel 2.2 dargestellten Indikatoren und demzufolge eine differenziertere Analyse, die als Basis zur Prüfung der Stresswirkung und späterer Handlungsempfehlungen dienen.

Im ersten Schritt wurden für die Prüfindikatoren entsprechende Items formuliert. Die erste Fassung des Fragebogens wurde an 12 Anwohnern eines WP in Sachsen-Anhalt erfolgreich erprobt, zeitgleich wurde die Rückmeldung dreier Beschwerdeführer zu dem Fragebogen in Interviews eingeholt. Zusätzlich wurde Rücksprache mit Experten vom BMU, UBA, dem LLUR Schleswig und BWE gehalten. Der überarbeitete Fragebogen umfasste 590 Items.

Für jede Untersuchungsbedingung sollten 30-50 Anwohner befragt werden. Verschiedene Entfernungen ermöglichten die Prüfung einer Abstand-Wirkungs-Beziehung. Als maximaler Abstand vom WP wurde, in Absprache mit den Zuwendungsgebern und den Experten, ein Radius von 8 km festgelegt. Es wurden nur WP mit mindestens fünf WEA mit einer Gesamthöhe größer 100 m berücksichtigt. Sonderfälle, wie z. B. WEA mit HK in Einflugschneisen von Flughäfen oder in Tieffluggebieten wurden ausgeschlossen. Da nur direkt vor Ort entschieden werden konnte, von welchem Anwesen aus die angezielten WEA zu sehen sind – Kartenmaterial reichte nicht aus, da Sicht behindernde Gebäude, Bäume usw. nicht eingezeichnet waren – wurden die Fragebögen durch wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte vor Ort verteilt. Dabei wurde der Fragebogen direkt den Anwohnern übergeben oder in die Briefkästen geworfen.

Um genügend viele Probanden in relativ kurzer Zeit für die Befragung zu gewinnen, war ein besonderer Anreiz erforderlich. Aus diesem Grund konnten sie ein Entgelt von 15,- EUR pro Person erhalten. Dazu mussten die Probanden ihre Bankverbindung angeben. Erfahrungsgemäß wird durch bezahlte Probanden eine höhere Datenqualität erzielt. Das vollständige und sorgfältige Bearbeiten der Fragebögen war die überprüfbare Voraussetzung für die Zahlung des Honorars.

Im Zuge des Rücklaufs der ersten Erhebung wurde festgestellt, dass es trotz der angebotenen 15,- EUR nicht zu der erwünschten Rücklaufquote kam. Um die Menge der zurückgesandten Fragebögen zu erhöhen, wurden pro WP 150 bis 200 statt der ursprünglichen 100 Fragebögen verteilt.

Weiterhin ist denkbar, dass einige Personen den Fragebogen nicht ausfüllten, weil sie ihre Bankverbindung nicht angeben wollten. Aus diesem Grund wurde als zusätzlicher Anreiz eine Verlosung von „amazon“-Gutscheinen angeboten. Dazu mussten die Anwohner nur ihren Namen und ihre Adresse angeben, nicht jedoch ihre Bankverbindung. Pro WP wurden drei Gutscheine im Wert von jeweils 25,- EUR verlost.

Um den Fragebogenrücklauf weiter zu erhöhen, erfolgte eine telefonische Nachfrage durch eine studentische Hilfskraft; im Rahmen der Fragebogenverteilung konnten von den meisten Personen der Name und die Adresse vor Ort notiert werden. Zusätzlich wurde nach den ersten beiden Erhebungen mit gezielter Öffentlichkeitsarbeit begonnen: In lokalen Printmedien wurde jeweils mittels redaktioneller Beiträge über den bevorstehenden Beginn der Befragung berichtet. Zudem wurde, um die Datenqualität zu heben, bei den Personen telefonisch nachgefragt, die bei zentralen Fragen nicht oder unklar geantwortet hatten.

Um statistisch bedeutsame Ergebnisse von praktischer Signifikanz aufdecken und damit belastbare Aussagen zu den Hauptfragestellungen treffen zu können, ist eine Stichprobengröße von mindestens 32 Personen pro WP erforderlich (Kriterium der mittleren Effektstärke; Cohen, 1988). In Versuchsbedingungen, in denen trotz der beschriebenen Bemühungen die Stichprobengröße unter der erforderlichen Anzahl der Probanden blieb, wurden bei zusätzlichen WP Befragungen durchgeführt.

Insgesamt wurden im Zeitraum von Februar bis September 2009 die Anwohner von 15 WP befragt. Die Rücklaufquoten für diese WP lagen zwischen 11 % und 39 % ($M = 24.8\%$). In der weiteren Auswertung wurden zwei WP nicht berücksichtigt, da bei einem WP die Datenqualität der zurückgesandten Fragebögen unzureichend war. Bei dem anderen WP gab es dicht zusammenstehende WEA mit unterschiedlicher HK, so dass für die Anwohner die Voraussetzung, dem Einfluss nur einer HK-Art ausgesetzt zu sein, nicht erfüllt war.

In **Tabelle 4/1** sind charakteristische Merkmale der 13 berücksichtigten WP dargestellt. Demnach wies ein durchschnittlicher WP 9 WEA mit einer Gesamthöhe von 137 m auf. Die mittlere Gesamtleistung der WP lag bei 17 MW und die durchschnittliche Betriebsdauer betrug 4 Jahre.

Tabelle 4/1: Merkmale der in der Auswertung berücksichtigten 13 WP

Merkmal	M (SD)	Spannbreite
WEA-Anzahl	9.38 (5.59)	5 - 27
WEA-Gesamthöhe [m]	136.85 (11.28)	118 -150
WP-Gesamtleistung (MW)	16.92 (10.87)	6.90 - 49.30
WP-Betriebsdauer bis zum Untersuchungsmonat im Jahr 2009 [Monate]	49.08 (18.81)	28 -78

Stichprobe: In die Auswertung einbezogen wurden Anwohner, die angaben, von ihrem Anwesen aus WEA des angezielten WP zu sehen. Dies waren 420 Personen. Die Befragten waren im Durchschnitt 51 Jahre alt und wohnten im Mittel seit 21 Jahre auf ihrem Anwesen, dessen Eigentümer sie in 84.7 % der Fälle waren. Männer waren etwas überrepräsentiert (57.3 % Männer, 42.7% Frauen). Die Mehrheit (68.8 %) der Probanden war verheiratet. Jeweils knapp 39 % hatten die Realschule/POS abgeschlossen oder die Hochschulreife erworben. Die drei stärksten Berufsgruppen waren Angestellte (33.2 %), Beamte (10.7 %) und Selbständige (8.4 %). Im Ruhestand oder Rentner waren 26.7 %. Von den Befragten übten 31.4 % ihren Beruf auch zu Hause aus. Nur eine geringe Anzahl von Befragten war in der Windenergiebranche tätig (4.1%). Das Haushaltsnettoeinkommen lag bei 23.6 % der Probanden zwischen 1001-2000 EUR, bei 25.8 % zwischen 2001-3000 EUR und bei 16.0 % zwischen 3001-4000 EUR. Für weitere Merkmale der Probanden siehe Tabelle 1 im Anhangsband.

In den Untersuchungsbedingungen der beiden Pläne (**Tabellen 3/1** und **3/2**) waren die Probanden im Alter und in der Geschlechterverteilung vergleichbar (keine statistisch bedeutsamen Unterschiede; Tabelle 2 im Anhangsband).

4.3 Auswertung und statistische Methoden

Nach der Dateneingabe in eine SPSS-Datei erfolgte ein vollständiger Kontrollabgleich mit den Originalwerten in den Fragebögen. Vor der Berechnung von statistischen Kennwerten fand eine Prüfung auf unplausible Werte und Ausreißer in den Variablen statt; ggf. wurde erneut der eingegebene Wert mit dem Originalwert im Fragebogen verglichen.

Die eingesetzten statistischen Verfahren dienen dem Ziel einer genauen Beschreibung von Gruppenmerkmalen und von Unterschieden zwischen

den Untersuchungsbedingungen in den relevanten Variablen. Dazu wurden unter der Annahme von intervallskalierten Variablen deskriptive statistische Kennwerte wie arithmetischer Mittelwert (M), empirische Standardabweichung (SD) und Standardfehler des Mittelwerts (SEM) verwendet. Bei nominalskalierten Variablen werden absolute und relative Häufigkeiten (%-Werte) genannt. Pearson-Korrelationen wurden im Zusammenhang mit der Prüfung von Einflussfaktoren berechnet. Hier wurden nur die Koeffizienten als bedeutsam betrachtet, die mindestens 0.30 betragen (mittlere Effektstärke nach Cohen, 1988).

Die inferenzstatistische Prüfung der Verteilung von Häufigkeiten erfolgte mittels Chi²-Test. Bei signifikantem Testergebnis werden die Untersuchungsbedingungen genauer beschrieben, bei denen die beobachtete Häufigkeit von der erwarteten deutlich abweicht. In diesem Zusammenhang wird im Ergebnisteil der Begriff „relativ häufiger“ verwendet.

Mittelwertsunterschiede von Untersuchungsbedingungen wurden im Rahmen einer 2x2- oder 2x3-faktoriellen Varianz- oder Kovarianzanalyse inferenzstatistisch geprüft. Die Kovarianzanalyse war erforderlich, um den Effekt des Einflussfaktors „Belastung während der Planungs- und Bauphase“ zu prüfen.

Bei post-hoc-Vergleichen für Tageskennzeichnungsmittelwerte der Varianzanalyse bzw. der adjustierten Mittelwerte der Kovarianzanalyse kamen als Kontraste spezielle t-Tests (least significant difference t-test, LSD) zum Einsatz. A priori geplante Mittelwertvergleiche von zwei Gruppen wurden mit t-Tests durchgeführt.

Die intervallskalierten Variablen waren häufig weder normalverteilt noch wiesen die Teilgruppen homogene Varianzen auf. Gegen diese Abweichungen gelten varianzanalytische Verfahren als robust, zumal die Stichprobengröße > 10 betrug und die Ver-

letzung der Normalverteilung in der Regel durch eine Linksteilheit aufgrund zahlreicher 0-Werte zustande kam (Bortz, 1989; Box, 1954).

Die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse folgte den Prinzipien der „deskriptiven Datenanalyse“ von Abt (1987). Die angegebenen Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p) der zweiseitigen Tests besitzen daher nur eine deskriptive Funktion zur Kennzeichnung der Größe von Gruppenunterschieden. Da es sich nicht um eine konfirmatorische Datenanalyse handelt, erfolgte keine Alpha-Adjustierung trotz multipler Testung von Gruppenunterschieden. Zur Beschreibung von p -Wertebereichen werden folgende Begriffe verwendet: p -Werte $\leq .05$ als „signifikant“ und p -Werte mit $.05 < p \leq .10$ als „tendenziell signifikant“ bezeichnet.

Neben der Beurteilung von Bedingungsunterschieden anhand von p -Werten wurden die Effektstärkemaße η^2 , d und w als Maße für die praktische Signifikanz verwendet (Cohen, 1988). Ein Gruppenunterschied wird als „statistisch bedeutsam“ bezeichnet, wenn sowohl mindestens eine kleine Effektstärke als auch ein p -Wert $\leq .05$ vorliegen.

Zur Berechnung der deskriptiven statistischen Kennwerte, Korrelationen, Varianz-, Kovarianzanalysen und Kontraste wurde das Statistikpaket SPSS eingesetzt. Die Berechnung der Effektstärken d und w erfolgte mittels Excel.

Der besseren Lesbarkeit halber werden im folgenden Ergebnisteil nur ausgesuchte statistische Kennwerte genannt. Alle relevanten Kennwerte sind in den Tabellen des gesonderten Anhangs zu finden.

5 Ergebnisse

5.1 Tageskennzeichnung

5.1.1 Wahrnehmung

Die Genauigkeit der Wahrnehmung der Kennzeichnungsart ist ein Indikator für deren Bedeutsamkeit für die Anwohner. Die FK-RB wurde von 84.5 % der Betroffenen, die auch in der Nähe eines WP mit entsprechender Kennzeichnung wohnten, korrekt erkannt. Für sichtweitenregulierte, synchronisierte Xenon- und LED-Signale liegen die Wahrnehmungsraten mit 69.8 % bzw. 65.6 % niedriger, d. h. diese Signale fielen weniger stark auf, was z. B. an der SWR liegen könnte.

5.1.2 Globale Bewertung

Die globale Bewertung der verschiedenen Tageskennzeichnungen fiel relativ neutral aus, die Mittelwerte schwankten nur geringfügig um den 0-Wert (**Abbildung 5/1**). Allerdings wurde die Xenon-Befeuerung etwas negativer bewertet als LED und FK-RB. Die Mittelwertsunterschiede waren bei mittlerer bzw. kleiner Effektstärke signifikant.

Dieser negative Trend wird deutlicher, wenn die der globalen Bewertung zugrunde liegenden Attribute genauer betrachtet werden. So wurde Xenon im Unterschied zu LED als etwas unangenehmer, bedrohlicher, weniger harmlos, schlechter, weniger sinnvoll, störender und überflüssiger beurteilt (signifikante Unterschiede von kleiner oder mittlerer Effektstärke). Die FK-RB nahm eine Mittelposition ein; gegenüber LED sind die Merkmale „friedlich“ und „gut“ signifikant geringer ausgeprägt (kleine Effektstärken). Im Unterschied zu Xenon wurde die FK-RB im Mittel als etwas sinnvoller, nützlicher und wünschenswerter eingeschätzt (signifikante Unterschiede bei kleinen Effektstärken). Ein Einfluss der Umgebung des WP auf die globale Bewertung konnte nicht nachgewiesen werden.

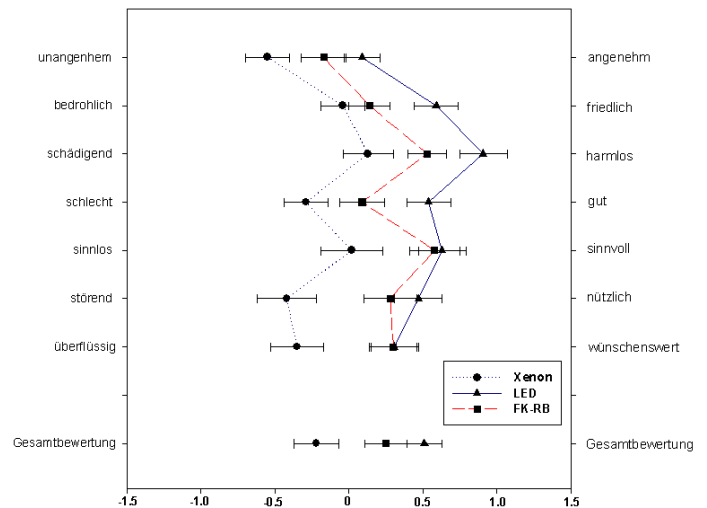


Abbildung 5/1: Globale Bewertung der Tageskennzeichnung (M ± SEM, Skala: -3 – +3)

5.1.3 Belästigung

HK-insgesamt und einzelne HK-Merkmale: Insgesamt betrachtet wirkten die verschiedenen Tageskennzeichnungen wenig belästigend (**Abbildung 5/2**). Die Mittelwerte schwanken um den Wert 1. Xenon wurde im Durchschnitt allerdings als signifikant lästiger empfunden als LED und tendenziell signifikant lästiger als FK-RB (jeweils kleine Effektstärken). LED und FK-RB unterschieden sich dagegen nicht statistisch bedeutsam. Im Durchschnitt gaben die Befragten weder eine Zunahme noch eine Abnahme der Belästigung über die Jahre an (M = 0.06, SD = 0.41, Skala: -1 bis +1) – ohne bedeutsame Unterschiede zwischen den verschiedenen Tageskennzeichnungsarten.

Die stärkere Belästigung durch Xenon spiegelt sich ebenfalls in der Bewertung der physikalischen Merkmale „Helligkeit“, „Blinkrhythmus“ und „Blinken an sich“ wider. Die Xenon-Befeuerung wurde signifikant lästiger beurteilt als die von LED (jeweils mittlere Effektstärken). Als mittelmäßig stark belästigend erwies sich das Blinken der Xenon-Signale. Auch fand sich hier ein Umgebungseffekt. In einfacher Umgebung wurde die Helligkeit der weißen Signale im Mittel tendenziell signifikant als etwas lästiger empfunden als in komplexer Umgebung (kleine Effektstärke). Auf die Gesamtbelästigung hatte die Umgebung der WP jedoch keinen statistisch bedeutsamen Einfluss.

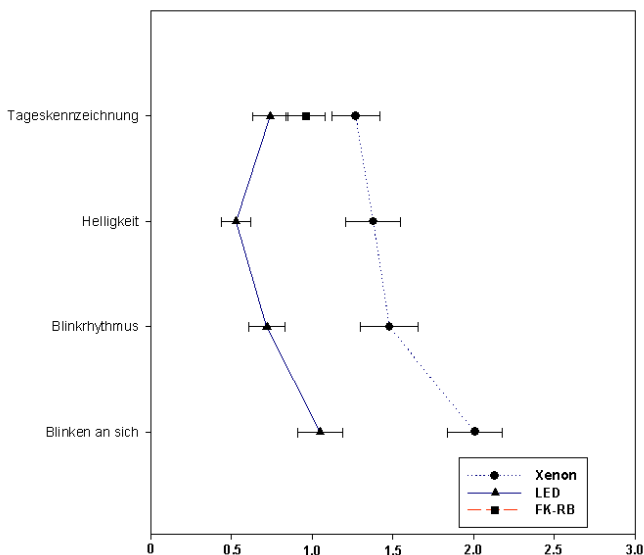


Abbildung 5/2: Belästigung durch die Tageskennzeichnung insgesamt und deren physikalische Merkmale ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

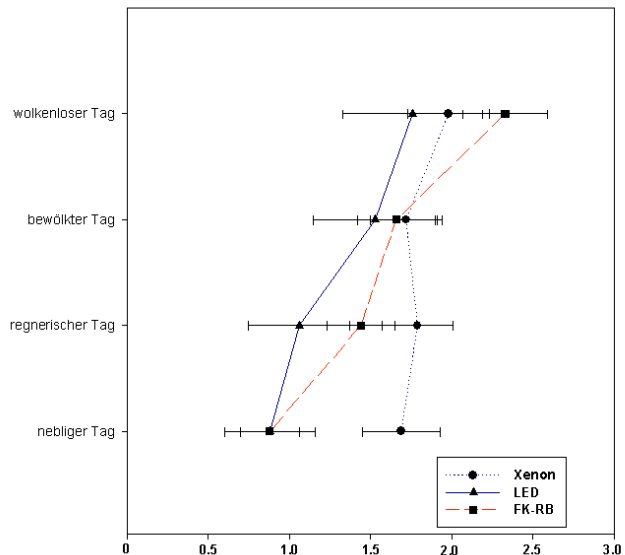


Abbildung 5/3: Wetterlagen mit besonders starker Belästigung durch die Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

Tageszeit: Die Belästigung durch die Tageskennzeichnung war für keinen Zeitabschnitt zwischen der Morgendämmerung und dem Nachmittag besonders stark ausgeprägt.

Jahreszeit: Anwohner eines Xenon-WP gaben signifikant häufiger als andere Anwohner an, in bestimmten Monaten durch die Tageskennzeichnung besonders stark belästigt zu werden (kleine Effektstärken). Bei den Monaten handelte es sich in 61.5 % der Xenon-Fälle um die Herbst- und Wintermonate.

Wetterlagen: 29.7 % der Befragten fühlten sich bei bestimmten Wetterlagen besonders stark belästigt. Bezogen auf diese Untergruppe traten die höchsten Mittelwerte aller drei Tageskennzeichnungen beim wolkenlosen Tag auf (Werte um 2 = „mittelmäßige Belästigung“) (**Abbildung 5/3**).

An regnerischen und nebligen Tagen fiel die Belästigung durch LED und FK-RB deutlich niedriger aus als an wolkenlosen Tagen – dies war für die Xenon-Befeuerung nicht der Fall. So wurde Xenon signifikant belästigender bei der Wetterlage „regnerischer Tag“ im Vergleich zu LED und bei „nebligem Tag“ im Vergleich zu FK-RB eingeschätzt (jeweils mittlere Effektstärken).

5.1.4 Aufmerksamkeit, psychische und körperliche Befindlichkeit

Aufmerksamkeit: Xenon-Befeuerung und FK-RB führten zu einer geringfügigen Ablenkung von Tätigkeiten (**Abbildung 5/4**). Die Mittelwertsunterschiede zu LED wurden signifikant (kleine Effektstärken). Die Effekte sind unabhängig von der Umgebung des WP.

Blendung: Auch die Blendwirkung wurde insgesamt als schwach beurteilt. Für Xenon und FK-RB fiel sie allerdings signifikant stärker aus als für LED (kleine Effektstärken).

Psychische und körperliche Befindlichkeit: Psychische oder körperliche Symptome, die mindestens einmal pro Woche auftreten und von den Anwohnern in Verbindung mit der HK gebracht werden, traten nur sehr selten auf (0 – 1.9 % aller Probanden). In diesen wichtigen 35 Indikatoren konnten keinerlei bedeutsame Stresseffekte nachgewiesen werden.

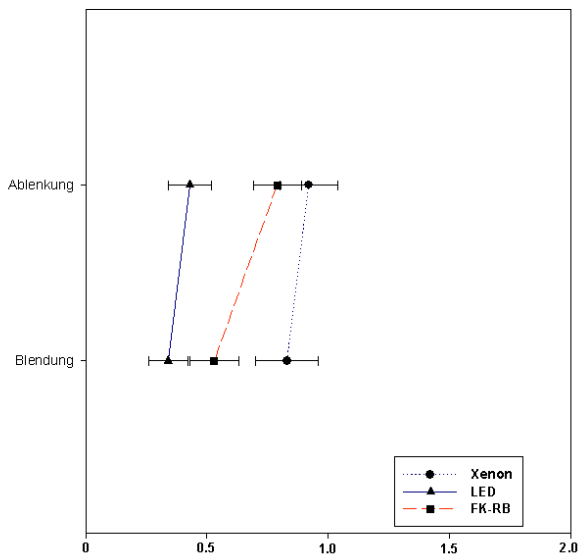


Abbildung 5/4: Ablenkung und Blendung durch die Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

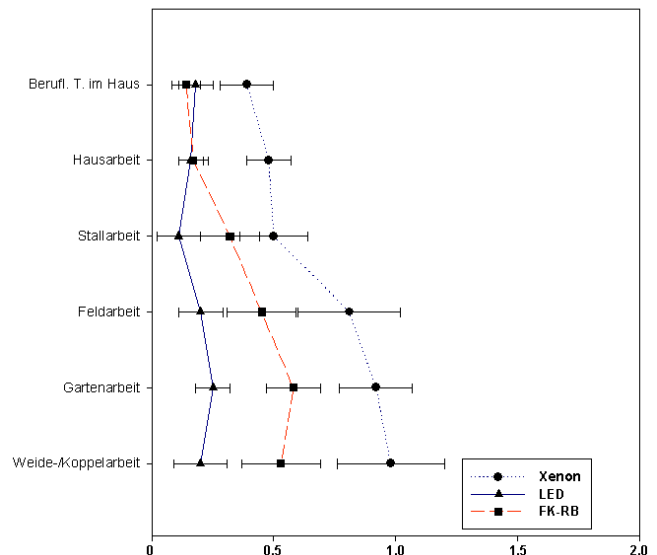


Abbildung 5/5: Beeinträchtigung von Tätigkeiten durch die Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

5.1.5 Verhalten

Aufenthalt: Der Aufenthalt an bestimmten Orten wurde signifikant durch die Tageskennzeichnung beeinflusst. Anwohner von Xenon-WP hielten sich relativ seltener als andere Anwohner an folgenden Orten im Haus oder Freien auf: Küche, Flur, Schlafzimmer, Terrasse/Balkon, Garten, Feld/Koppel (kleine Effektstärken).

Tätigkeiten im Haus, im Freien, Freizeitaktivitäten, soziale Aktivitäten: Für jedes dieser Handlungsfelder konnte nachgewiesen werden, dass Xenon zu einer leichten Beeinträchtigung von Handlungen und Aktivitäten im Vergleich zu LED und häufig auch zu FK-RB führte (**Abbildungen 5/5 bis 5/7**; signifikante Mittelwertsunterschiede bei kleinen und mittleren Effektstärken). Die Wirkungen waren für Handlungen im Freien etwas größer als in der Wohnung. Die Xenon-Mittelwerte bewegen sich aber immer im Bereich der Skalenstufe „gering“. Die Mittelwerte der Bedingung FK-RB lagen häufig zwischen denen der beiden anderen Bedingungen. Diese Mittelposition lässt sich aber nur für die „Gartenarbeit“ statistisch bedeutsam absichern. Die hier aufgeführten Effekte waren wiederum nicht abhängig von der WP-Umgebung.

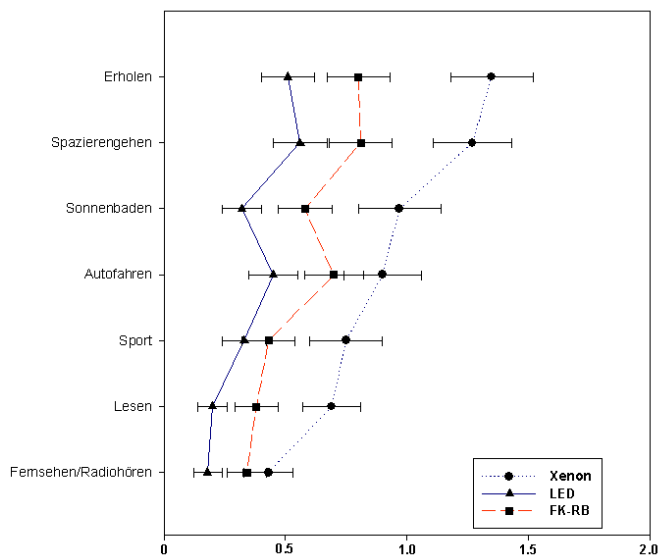


Abbildung 5/6: Beeinträchtigung von Freizeitaktivitäten durch die Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

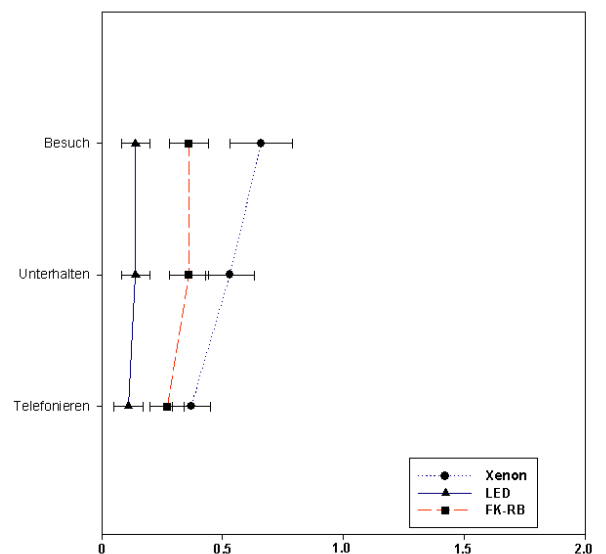


Abbildung 5/7: Beeinträchtigung von sozialen Aktivitäten durch die Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

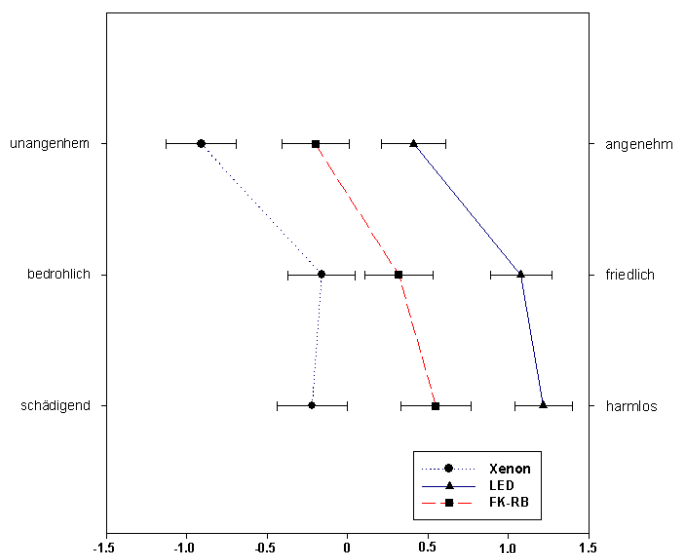


Abbildung 5/8: Globale Bewertung des WP in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung (M ± SEM, Skala: -3 – +3)

5.1.6 Stressbewältigung

Kognitionen: Für die Anwohner war die Tageskennzeichnung ein relevantes Thema (M um 2); auf sie wurde aber nicht mit Hilflosigkeit reagiert (M um 1), sondern es bestand eine mittelstarke Tendenz, sich mit der HK abzufinden (M um 2).

Xenon-Anwohner waren im Vergleich zu LED-Anwohnern signifikant weniger bereit, wegen des Gemeinwohls persönliche Nachteile durch die Kennzeichnung hinzunehmen und relativierten weniger stark deren Wirkung (kleine Effektstärken). Zudem waren sie – zusammen mit Anwohnern von FK-RB – kritischere Beobachter der HK als Anwohner von LED (signifikante Unterschiede bei kleinen Effektstärken).

Maßnahmen: Zur Verringerung der Belästigung ergriffen Xenon-Anwohner relativ häufiger als die übrigen Anwohner folgende Maßnahmen: Zuziehen der Gardine/Herablassen des Rollos, Kaffee trinken, Gespräche führen mit nahe stehenden Personen, Beschaffung von Informationen zu WEA-Gerichtsurteilen, sich beschweren beim Eigentümer und bei Behörden, juristische Beratung suchen (signifikante Effekte bei kleinen Effektstärken). Die Maßnahmen scheinen darauf gerichtet zu sein, direkt oder indirekt bzw. unmittelbar und langfristig die Immission zu verringern. Das vermehrte Kaffeetrinken könnte dazu dienen, das Konzentrationsvermögen zu steigern, um die ablenkende Wirkung der Xenon-HK zu mindern. Nur 4 % der Befragten erwägen einen Umzug wegen der HK.

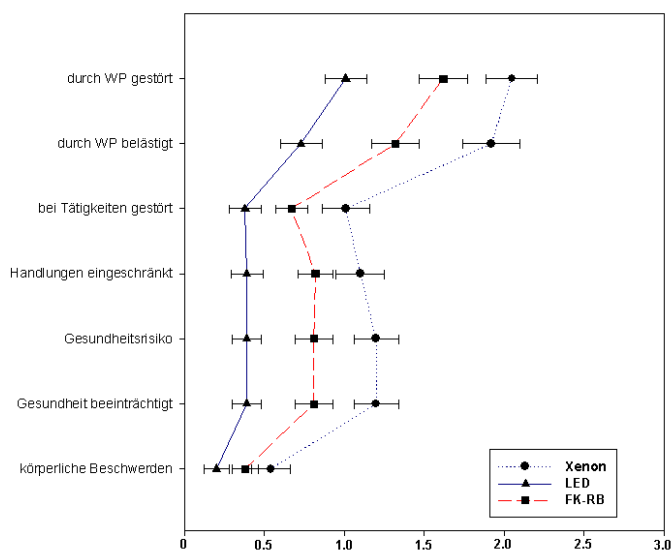


Abbildung 5/9: Belästigung und Beeinträchtigung durch den WP in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung (M ± SEM, Skala: 0 – 4)

5.1.7 WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, dass die Tageskennzeichnung die Bewertung verschiedener Aspekte des WP beeinflusste.

Allgemeine Bewertung des WP: Xenon-WP wurden als etwas unangenehmer, bedrohlicher und schädigender erlebt als FK-RB- und LED-WP (**Abbildung 5/8**). Die Mittelwertsunterschiede Xenon – LED waren bei mittleren Effektstärken signifikant. WP mit FK-RB nahmen bei den Beurteilungen eine Mittelposition ein (kleine Effektstärken bei den Unterschieden zu den anderen Bedingungen). LED-WP wurden als relativ angenehm, friedlich und harmlos bewertet.

Belästigung, Beeinträchtigung, Beschwerden: Anwohner von Xenon-WP fühlten sich in einem mittleren Ausmaß durch den WP gestört und belästigt (**Abbildung 5/9**). Geringfügig waren bei ihnen Tätigkeiten gestört und Handlungen eingeschränkt. Das Gesundheitsrisiko und gesundheitliche Beeinträchtigungen stuften sie im Mittel als gering ein. Bei der direkten Frage nach körperlichen Beschwerden durch den WP fand sich ein sehr kleiner Mittelwert (M < 1). Die geringsten allgemeinen Störungen/Belästigungen lagen beim LED-WP vor, während der FK-RB-WP eine mittlere Stellung einnahm. Die Unterschiede zwischen Xenon und LED fielen bei kleinen bzw. großen Effektstärken signifikant aus.

Insgesamt ist festzustellen, dass bei den hier untersuchten HK-Bedingungen WP zu mittelstarker Belästigung führen können, ohne dass jedoch gesundheitliche Beeinträchtigungen nachweisbar sind.

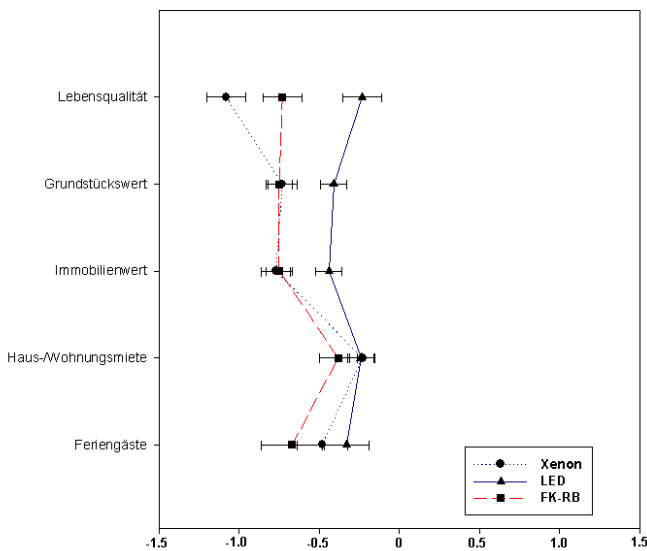


Abbildung 5/10: Veränderung der Lebensqualität und von Immobilienaspekten durch den WP in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: -2 - +2, -3 - +3)

Lebensqualität: Eine durch den WP leicht verschlechterte Lebensqualität gaben die Anwohner an (**Abbildung 5/10**). Diese fiel im Mittel für die Xenon-WP-Anwohner stärker aus als für die übrigen Anwohner, blieb aber in einem geringfügigen Bereich. Alle Gruppen unterschieden sich signifikant bei kleinen bzw. mittleren Effektstärken.

Grundstückswert, Immobilienwert: Die Anwohner stellten eine geringfügige Abnahme des Grundstücks-/Immobilienwerts, der Miete und der Anzahl der Feriengäste durch den WP fest (**Abbildung 5/10**). Für LED-WP-Anwohner fiel sie im Mittel am geringsten aus. Die Beurteilungsunterschiede waren im Vergleich zu den übrigen Anwohnern bzgl. des Grundstücks- und Immobilienwerts bei kleinen Effektstärken signifikant. Anzumerken ist, dass hier nicht nach genauen Euro-Beträgen oder Anzahlen gefragt wurde, sondern nach allgemeinen tendenziellen Veränderungen.

Vertrauen in Akteure: Durch den WP kam es bei den Anwohnern zu einem leichten Vertrauensverlust in Genehmigungsbehörden, Betreiber, Gemeinde und Bürgermeister (**Abbildung 5/11**). Dieser fiel insbesondere bzgl. der Genehmigungsbehörden und dem Betreiber bei den Xenon-WP-Anwohnern deutlicher aus als für die LED-WP-Anwohner. Die Unterschiede zwischen Xenon und LED waren signifikant bei kleiner bis großer Effektstärke. Der Vertrauensverlust gegenüber dem Bürgermeister war bei Xenon-WP in komplexer Umgebung stärker als in einfacher Umgebung (mittlere Effektstärke).

Veränderungen in der Gemeinde: Die WP verschlechterten auch geringfügig die Stimmung in der Gemeinde ($M < 0$ in **Abbildung 5/11**).

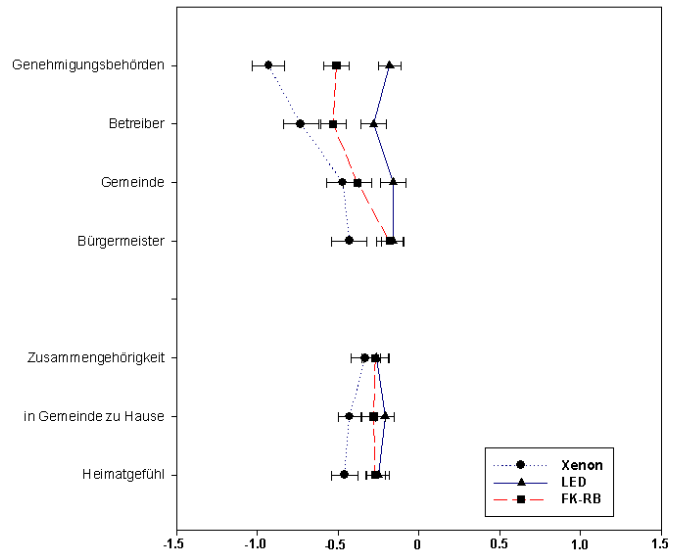


Abbildung 5/11: Veränderung des Vertrauens in Akteure (obere vier Items) und Veränderungen in der Gemeinde (untere drei Items) durch den WP in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: -2 - +2)

Das Gefühl, in der Gemeinde zu Hause zu sein sowie das Heimatgefühl waren bei den Anwohnern von Xenon-WP signifikant negativer ausgeprägt als bei den Anwohnern von LED-WP (kleine Effektstärken).

Allgemeine Akzeptanz der Windenergie: Die Tageskennzeichnung hatte Einfluss auf die allgemeine Akzeptanz der Windenergie (**Abbildung 5/12**). Für Anwohner von LED-WP war sie von mittlerer Ausprägung und unterschied sich signifikant von Xenon- und FK-RB-WP-Anwohnern, die im Mittel eine geringe Akzeptanz zeigten (mittlere bzw. kleine Effektstärke). Bei FK-RB spielte die WP-Umgebung eine Rolle: Die allgemeine Akzeptanz für Windenergie war bei Bewohnern einer einfachen Umgebung signifikant größer als bei Bewohnern einer komplexen Umgebung (mittlere Effektstärke).

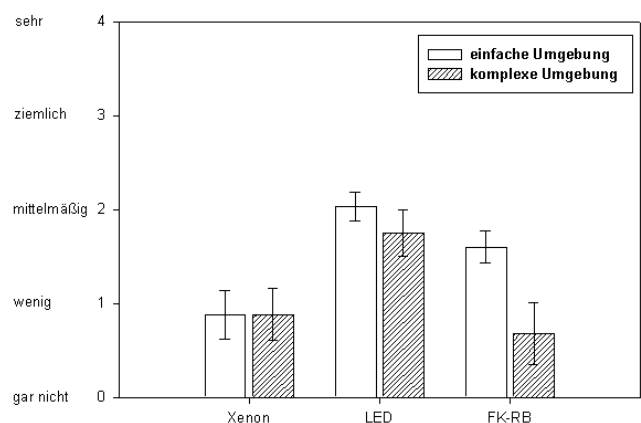


Abbildung 5/12: Allgemeine Akzeptanz der Windenergie in Abhängigkeit von der Tageskennzeichnung und der WP-Umgebung ($M \pm SEM$, Skala: 0 - 4)

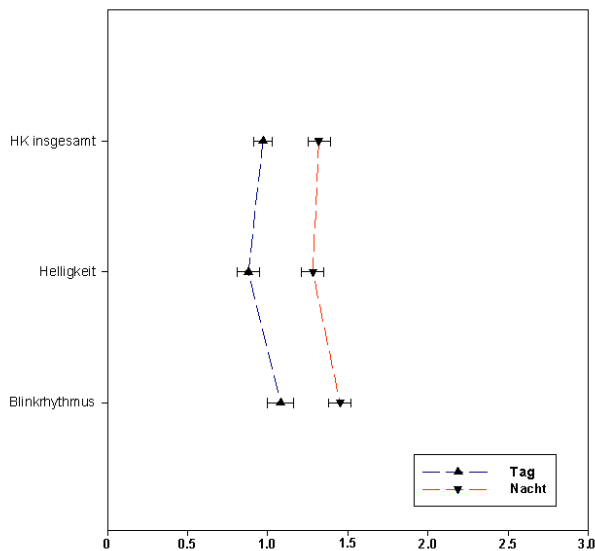


Abbildung 5/13: Belästigung der Gesamtstichprobe durch die Tages- vs. Nachtkennzeichnung insgesamt und deren physikalische Merkmale ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

5.2 Tages- vs. Nachtkennzeichnung

Der Vergleich der Wirkung der Tages- und Nachtkennzeichnung beruht auf Merkmalen, die für beide Kennzeichnungsarten in gleicher Weise erhoben wurden (Wahrnehmung, Gesamtbewertung der HK, Belästigung). Bei der Auswertung wurde unterschieden, ob es sich um WP mit oder ohne SWR handelt.

5.2.1 Wahrnehmung

Die Tageskennzeichnung sichtweitenregulierter, synchronisierter WP mit Xenon oder LED erkannten 69.8 % bzw. 65.6 % der betreffenden Anwohner; die Nachtkennzeichnung Feuer W, rot dieser WP wurde von 76.2 % der Anwohner korrekt wahrgenommen.

Die Tageskennzeichnung nicht sichtweitenregulierter, synchronisierter WP mit Xenon oder LED erkannten 48.5 % und von nicht synchronisierten WP 32.9 % der betreffenden Anwohner; die rote Nachtkennzeichnung wurde von 57.4 % der Anwohner im Fall der Synchronisation und von 47.1 % im Fall der Nicht-Synchronisation korrekt wahrgenommen.

Es wird deutlich, dass unabhängig von der SWR die Nachtkennzeichnung von mehr Anwohnern korrekt wahrgenommen wird und damit eine stärkere Wirkung erwarten lässt als die Tageskennzeichnung.

5.2.2 Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung mittels Eigenschaftspaaren fiel sowohl für die Tages- wie für die Nachtkennzeichnung ohne statistisch bedeutsamen Unter-

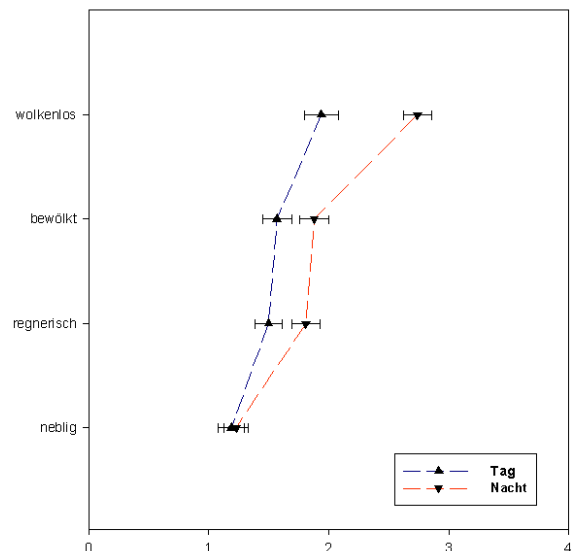


Abbildung 5/14: Wetterlagen mit besonders starker Belästigung der Gesamtstichprobe durch die Tages- und Nachtkennzeichnung ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

schied minimal positiv aus (Tageskennzeichnung: $M = 0.21$, $SD = 1.33$; Nachtkennzeichnung: $M = 0.13$, $SD = 1.48$; Skala -3 bis +3). Dies gilt sowohl für WP mit und ohne SWR, für WP in einfacher oder komplexer Umgebung als auch für WP mit und ohne Synchronisation.

5.2.3 Belästigung

Die Belästigung durch die Helligkeit und den Blinkrhythmus der Lichtsignale insgesamt, wurde für die Nachtkennzeichnung signifikant stärker eingeschätzt als für die Tageskennzeichnung (mittlere und große Effektstärken). Die Mittelwerte liegen in einem Bereich zwischen den Skalenstufen „wenig“ und „mittelmäßig“. Die Befunde gelten sowohl für WP mit als auch ohne SWR. Deswegen bezieht sich die **Abbildung 5/13** auf die Gesamtstichprobe.

Wetterlagen: 28.6 % der Anwohner fühlten sich bei bestimmten Wetterlagen besonders belästigt. Die wolkenlose Nacht wies den stärksten Lästigkeitsgrad auf; der Mittelwert erreichte fast die Stufe „ziemlich starke“ Belästigung (**Abbildung 5/14**). Der Unterschied zur Tageskennzeichnung war für WP mit und ohne SWR bei großer Effektstärke signifikant. Die Lichtsignale in der bewölkten Nacht wurden nur von Anwohnern eines WP ohne SWR signifikant lästiger eingestuft als die am bewölkten Tag, nicht jedoch von Anwohnern eines WP mit SWR (große Effektstärke). Die Lichtsignale in einer regnerischen Nacht waren für die Anwohner signifikant lästiger als die eines regnerischen Tages, unabhängig davon ob die HK sichtweitenreguliert war (mittlere bzw. große Effektstärke).

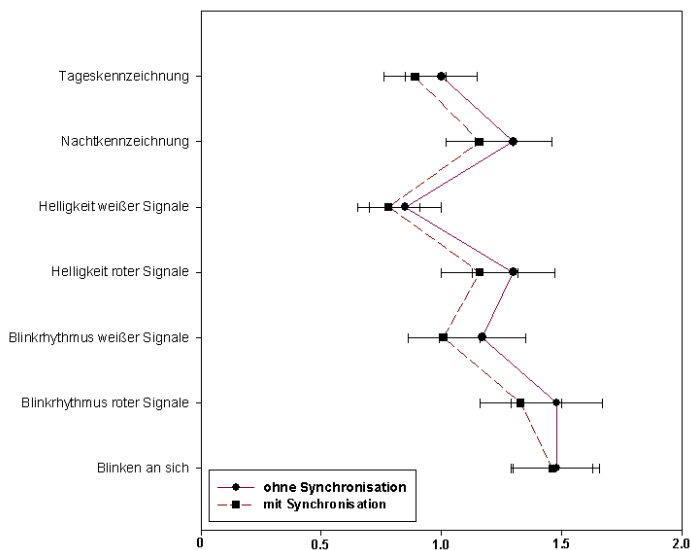


Abbildung 5/15: Belästigung durch die Tages- vs. Nachtkennzeichnung insgesamt und deren physikalische Merkmale bei nicht sichtweitenregulierten WP mit und ohne Synchronisation ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

5.3 Synchronisation

Die in diesem Unterkapitel beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf WP ohne SWR (siehe Prüfplan in **Tabelle 3/2**).

5.3.1 Wahrnehmung

Die Tageskennzeichnung nicht sichtweitenregulierter, synchronisierter WP mit Xenon oder LED erkannten 48.5 % und von nicht synchronisierten WP 32.9 % der betreffenden Anwohner; die rote Nachtkennzeichnung wurde von 57.4 % der Anwohner im Fall der Synchronisation und von 47.1 % im Fall der Nicht-Synchronisation korrekt wahrgenommen. Demnach werden synchronisierte Signale besser korrekt erkannt als nicht synchronisierte.

5.3.2 Gesamtbewertung und Belästigung

Globale Bewertung der HK: Die Tages- und Nachtkennzeichnung der WP ohne SWR wurden relativ neutral bewertet ($M = 0.24$, $SD = 1.30$ bzw. $M = 0.18$, $SD = 1.40$); die Synchronisation hatte keinen statistisch bedeutsamen Einfluss.

Globale Belästigung, Lästigkeit einzelner physikalischer Merkmale der HK: Die Lästigkeitsurteile zur Tages- und Nachtkennzeichnung und deren Merkmale wie Helligkeit, Blinkrhythmus und Blinken an sich fielen für WP mit und ohne Synchronisation im Mittel sehr ähnlich aus; sie lagen im Bereich geringfügiger Belästigung (Abbildung 5/15). Für diese Kenn-

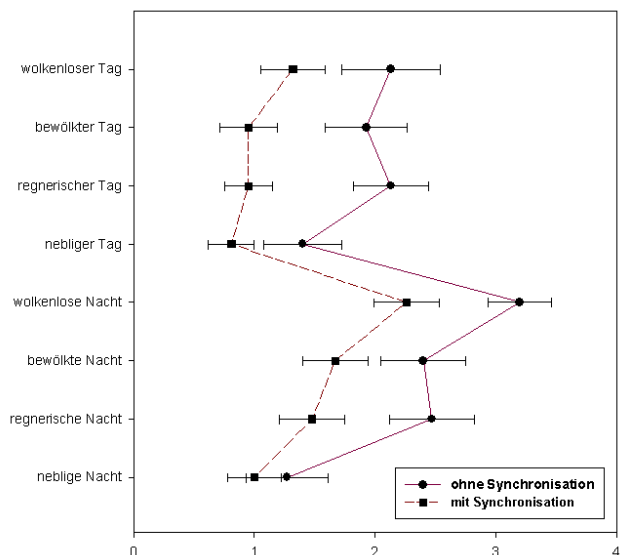


Abbildung 5/16: Wetterlagen mit besonders starker Belästigung durch die Tages- und Nachtkennzeichnung bei nicht sichtweitenregulierten WP mit und ohne Synchronisation ($M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

werte konnten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede festgestellt werden.

Wetterlagen: Für 26.1 % besonders belästigter Anwohner erwies sich die Synchronisation bei bestimmten Wetterlagen als vorteilhaft (**Abbildung 5/16**), da sie mit einer geringeren Belästigung als bei HK ohne Synchronisation verbunden war. Dies war besonders der Fall für den bewölkten und regnerischen Tag bzw. die wolkenlose und regnerische Nacht (signifikante Unterschiede von mittlerer bzw. großer Effektstärke). Außer bei Nebel fielen die Lästigkeitswerte für die HK ohne Synchronisation „mittelmäßig“, für die wolkenlose Nacht sogar „ziemlich“ stark aus.

5.3.3 Weitere Stressindikatoren

Die Synchronisation hatte keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf folgende Stressindikatoren: Ablenkung, Blendung, Aufenthaltsdauer, Beeinträchtigung von Tätigkeiten und Freizeitaktivitäten, Stress reduzierende Maßnahmen.

Unabhängig von der Synchronisation trat folgender Effekt auf: Bei WP ohne SWR gaben die Bewohner einer einfachen Umgebung im Gegensatz zu einer komplexen Umgebung eine signifikante, leichte Zunahme der Belästigung durch die Tages- und Nachtkennzeichnung über die Jahre an (kleine Effektstärke).

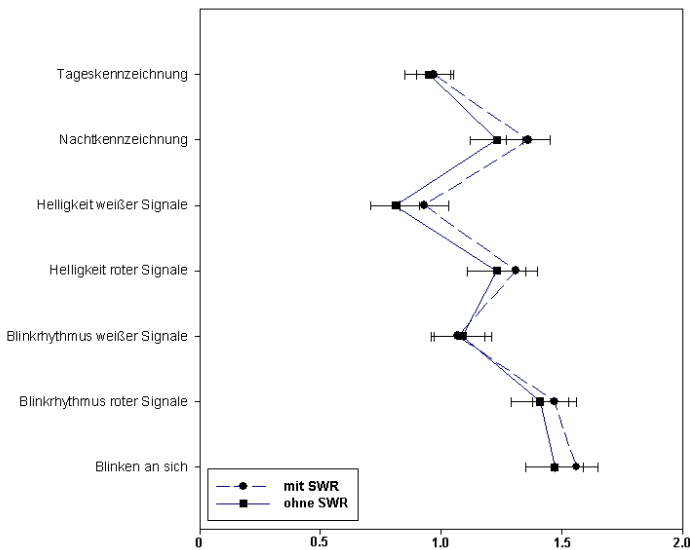


Abbildung 5/17: Belästigung durch die Tages- vs. Nachtkennzeichnung insgesamt und deren physikalische Merkmale bei WP mit und ohne SWR (M ± SEM, Skala: 0 – 4)

Kognitive Stressverarbeitung: Anwohner von synchronisierten WP waren signifikant stärker bereit, wegen des Gemeinwohls persönliche Nachteile hinzunehmen als Anwohner von nicht synchronisierten WP (kleine Effektstärke).

5.3.4 WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Synchronisation

Anwohner synchronisierter WP hatten eine signifikant ambivalentere Haltung zum WP als Anwohner nicht synchronisierter WP (kleine Effektstärke).

Die Wirkung von WP mit oder ohne Synchronisation war vergleichbar groß für folgende Merkmale (keine statistisch bedeutsamen Unterschiede): Allgemeine Bewertung, Lebensqualität, Belästigung, Beeinträchtigung, Beschwerden, Gesundheitsrisiko, Grundstücks-, Immobilienwert, Veränderungen in der Gemeinde, ambivalente Haltung zum WP, allgemeine Akzeptanz der Windenergie.

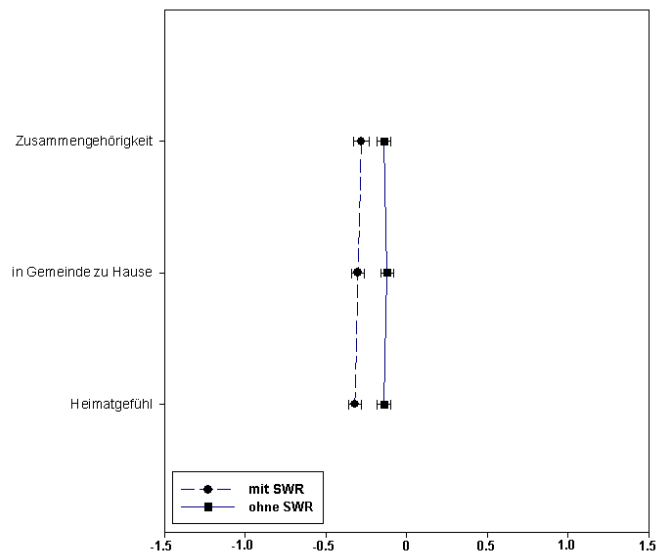


Abbildung 5/18: Veränderungen in der Gemeinde durch den WP in Abhängigkeit von der SWR (M ± SEM, Skala: -2 – +2)

5.4 Sichtweitenregulierung

5.4.1 Wahrnehmung

Von den Anwohnern sichtweitenregulierter WP waren für 47.5 % die Xenon-/LED-Signale immer gleich hell. Je nach Wetterlage nahmen 36.1% unterschiedliche Helligkeiten wahr. Die weißen Signale erschienen 47.1 % Anwohner von WP ohne SWR immer gleich hell.

Für 56.2 % der Befragten sichtweitenregulierter WP wirkte das Feuer W, rot nachts immer gleich hell; 32.7 % erkannten Helligkeitsunterschiede in Abhängigkeit von der Wetterlage; 53.6 % der Anwohner von WP ohne SWR gaben an, dass nachts die roten Signale immer gleich hell seien.

Insgesamt ist festzustellen, dass von einem relativ großen Prozentsatz von Anwohnern die Wirkungsweise einer SWR nicht bewusst wahrgenommen wird. Dieses Ergebnis lässt günstigere SWR-Wirkungen erwarten.

5.4.2 Gesamtbewertung und Belästigung

Globale Belästigung der Tages- und Nachtkennzeichnung, Lästigkeit einzelner physikalischer Merkmale der HK: In der Bewertung dieser Faktoren unterschieden sich HK mit und ohne SWR nicht statistisch bedeutsam. **Abbildung 5/17** zeigt Mittelwerte von geringfügiger Größe. Die Anwohner von WP mit SWR gaben eine leichte Zunahme der Belästigung durch die Tages- und Nachtkennzeichnung über die Jahre an. Im Gegensatz dazu nahm sie bei Anwohnern von WP ohne SWR leicht ab (kleine Ef-

fektstärken). Verständlich werden diese Befunde im Zusammenhang mit den Maßnahmen, die Anwohner von WP ohne SWR relativ häufiger ergriffen, um die HK-Belästigung zu reduzieren. Dies trug sicherlich dazu bei, dass die Lästigkeitsurteile zu den HK-Faktoren sehr ähnlich ausfielen.

5.4.3 Weitere Stressindikatoren

Stressreduzierende Maßnahmen: Um die Belästigung durch die HK zu vermindern, brachten Anwohner von WP ohne SWR relativ häufiger einen Sichtschutz an (Rollos, Markise) und setzten diesen auch ein. Sie hielten sich relativ seltener im Schlafzimmer auf und nahmen relativ häufiger Schlafmittel ein als Anwohner von WP mit SWR (signifikante Effekte bei einseitiger Testung; kleine bzw. grenzwertig kleine Effektstärken). Die Einnahme von Schlafmitteln führte bei den Anwohnern von WP ohne SWR zu einer nachweisbaren Verringerung der Belästigung (mittlere Effektstärke). Anwohner von WP mit SWR sprechen signifikant relativ häufiger mit Bekannten über die HK-Belästigung als Anwohner von WP ohne SWR (kleine Effektstärke). Deutlich wird, dass WP ohne SWR aufwändigere und gesundheitlich bedenklichere Maßnahmen zur Stressreduktion auslösen können.

Die SWR hatte keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf folgende Stressindikatoren: Ablenkung, Blendung, Aufenthaltsdauer, Beeinträchtigung von Tätigkeiten und Freizeitaktivitäten.

5.4.4 WP-Wirkungen in Abhängigkeit von der Sichtweitenregulierung

Allgemeine Bewertung: Sichtweitenregulierte WP in einfacher Umgebung wurden signifikant etwas angenehmer erlebt als SWR-WP in komplexer Umgebung (kleine Effektstärke).

Veränderungen in der Gemeinde: Das Gefühl, in der Gemeinde zu Hause zu sein und das Heimatgefühl hatten sich bei Anwohnern von WP mit SWR gegenüber solchen ohne SWR ganz leicht verschlechtert (**Abbildung 5/18**; signifikante Effekte bei kleinen Effektstärken). Dieser Befund steht nicht im Zusammenhang mit der Zufriedenheit beim Planungsprozess des WP und ist zunächst schwer erklärlich. SWR-WP in einfacher Umgebung hatten eine signifikant größere allgemeine Akzeptanz als in komplexer Umgebung (kleine Effektstärke).

Die Auswirkungen von WP mit oder ohne SWR waren vergleichbar geringfügig bezüglich folgender Merkmale (keine statistisch bedeutsamen Unterschiede): Lebensqualität, Belästigung, Beeinträchtigung, Beschwerden, Gesundheitsrisiko, Grundstücks-, Immobilienwert, ambivalente Haltung.

5.5 Stark belästigte Personen

Als stark belästigte Personen wurden Anwohner bezeichnet, die bei der Beurteilung der Gesamtbelästigung durch die HK auf einer Skala von 0-4 einen Wert von 3 („ziemlich“) oder 4 („sehr“) angaben. Dies waren 15.7 % der Gesamtstichprobe. Sie wurden mit „gar nicht“ (0) belästigten Personen (37.1 %) in einer Reihe von soziodemographischen Merkmalen, subjektiven Gesundheitsindikatoren, WP-Merkmalen und Untersuchungsbedingungen verglichen.

Stark belästigte Anwohner zeichneten sich dadurch aus, dass sie relativ häufiger Eigentümer ihres Anwesens und auch relativ häufiger beruflich zu Hause tätig waren (signifikante Effekte bei kleiner Effektstärke). Alter, Geschlecht, Familienstand, Schulabschluss, Beruf, Region (Ost- vs. Westdeutschland), Wohndauer und Haushaltsnettoeinkommen differenzierten nicht statistisch bedeutsam zwischen den beiden Gruppen.

Die stark Belästigten fielen durch einen weniger guten allgemeinen Gesundheitszustand, eine höhere Belastung durch akute und chronische, psychische und körperliche Erkrankungen, größere emotionale Labilität und Lichtempfindlichkeit auf (signifikante Gruppenunterschiede von kleiner oder mittlerer Effektstärke).

Sie gaben eine größere Belastung während der Planungs- und Bauphase des WP und eine geringere allgemeine Akzeptanz der Windenergie an (signifikante Gruppenunterschiede und große Effektstärken).

Sie lebten in der Nähe von WP kürzerer Betriebsdauer und größerer WEA-Anzahl (signifikante Gruppenunterschiede mit kleinen Effektstärken). Während stark Belästigte relativ häufiger einer Xenon-Befeuerung ausgesetzt waren, war es bei den Nicht-Belästigten relativ häufiger eine LED-Befeuerung (signifikanter Effekt bei kleiner Effektstärke). Beide Gruppen wohnten in einfacher oder komplexer Umgebung, in der Nähe von WP mit oder ohne SWR bzw. Synchronisation relativ gleich häufig (keine signifikanten Effekte). Ebenso erwiesen sich die mittlere Entfernung zum WP und die Gesamthöhe der WEA für beide Gruppen als vergleichbar groß (keine signifikanten Unterschiede).

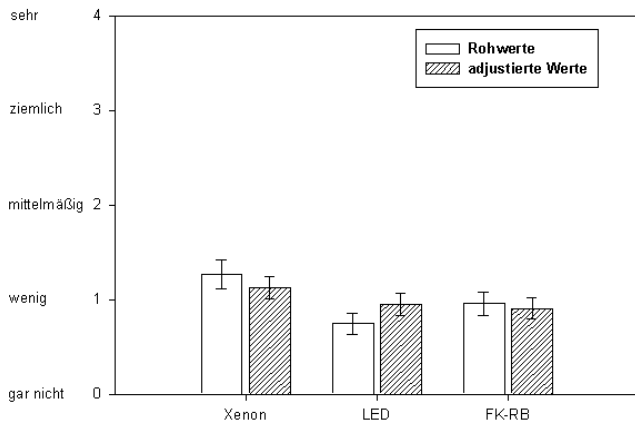


Abbildung 5/19: Belästigung durch Tageskennzeichnung ohne (Rohwerte) und mit (adjustierte Werte) Berücksichtigung des Einflussfaktors „Belastung während der Planungs- und Bauphase“

5.6 Einflussfaktoren

In einem gesonderten Auswertungsschritt wurde geprüft, welche Faktoren in der Gesamtstichprobe die Beziehung zwischen den Untersuchungsbedingungen (Tageskennzeichnung, Synchronisation, SWR, Umgebung) und der Gesamtbelästigung bedeutsam beeinflussen.

Die Faktoren Alter, Interesse für die Windenergie (Involvement), subjektive Gesundheitsindikatoren, finanzielle Beteiligung am WP, Anzahl gesehener WEA, WEA-Anzahl des WP, WEA-Gesamthöhe, mittlere Entfernung zum WP und WP-Betriebsdauer erfüllten nicht das Kriterium einer Korrelation von $r > .30$ mit der Gesamtbelästigung und werden somit als unbedeutsam angesehen. Auch Geschlecht und Region (Ost- vs. Westdeutschland) hatten keinen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die Gesamtbelästigung.

Relevant war der Faktor „Belastung während der Planungs- und Bauphase des WP“ ($r = .55$, große Effektstärke). Dies bedeutet, für Personen mit hoher Belastung während der Planungs- und Bauphase des WP ist auch die HK-Belästigung hoch, bei geringer Belastung ist auch die Belästigung gering. Der Einfluss des Faktors auf die Einschätzung der Belästigung durch die Tageskennzeichnung wird in **Abbildung 5/19** verdeutlicht. Nach dessen rechnerischer Beseitigung fallen die so adjustierten Belästigungsmittelwerte für die drei Tageskennzeichnungen vergleichbar groß aus. Die Unterschiede sind – im Gegensatz zu den Rohwerten – nun nicht mehr signifikant (unbedeutende Effektstärke).

5.7 HK-Wünsche

Die Anwohner machten Angaben, wie stark sie sich bestimmte Eigenschaften von HK wünschten (**Abbildung 5/20**). Der stärkste Wunsch bestand hinsichtlich einer bedarfsgerechten Befuerung. Deutlich bevorzugt wurden seltenere, schwächere und synchronisierte Lichtsignale. Auffallend ist, dass der Wunsch nach keiner Kennzeichnung nicht stark ausgeprägt war, d. h. die Notwendigkeit einer HK wird von den Befragten durchaus anerkannt.

5.8 Belästigung durch HK im Vergleich zu anderen WEA-Emissionen

Von den möglichen Stressfaktoren eines WP wurde die Veränderung des Landschaftsbildes als am stärksten belästigend eingeschätzt (**Abbildung 5/21**). Im Vergleich zu diesem Faktor und den WEA-Geräuschen fiel die Lästigkeit für die Nacht- und insbesondere die Tageskennzeichnung im Mittel für die Gesamtstichprobe deutlich niedriger aus (signifikante Unterschiede bei kleinen bis großen Effektstärken). Der periodische Schattenwurf und die Drehbewegung der Rotorblätter am Horizont wurden vergleichbar belästigend wie die Nachtkennzeichnung und die Lichtreflexe am Rotor vergleichbar wie die Tageskennzeichnung beurteilt.

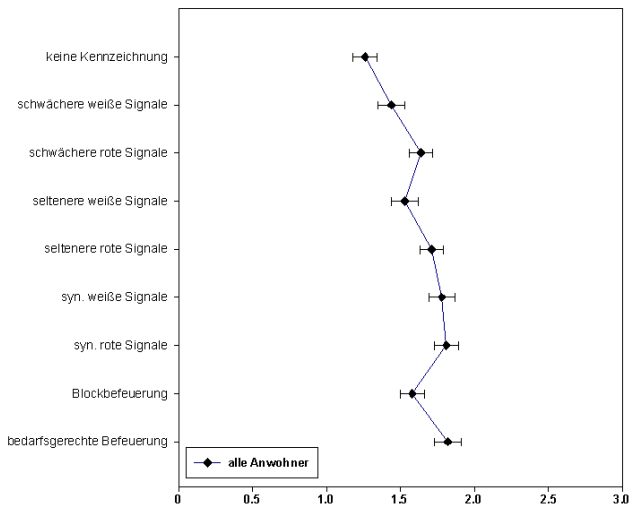


Abbildung 5/20: Stärke der Wünsche bzgl. der HK (Gesamtstichprobe, $M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)

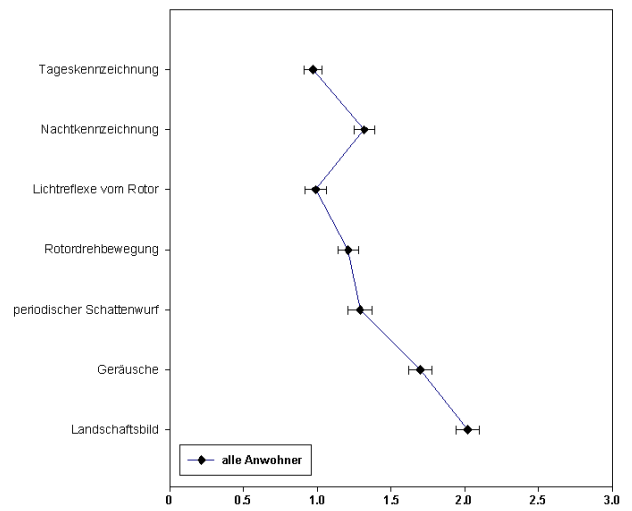


Abbildung 5/21: Belästigung durch die HK im Vergleich zu anderen WEA-Emissionen (Gesamtstichprobe, $M \pm SEM$, Skala: 0 – 4)



Abbildung 6/1: Diskussion der Studienergebnisse
(Foto: F. Meinel)

6 Transfer-Workshop

6.1 Hintergrund und Teilnehmer

Zum Projektabschluss fand am 17.02.10 auf dem Universitätscampus der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg ein Workshop mit praxisrelevanten Akteuren und Fachvertretern statt. Dieser Workshop diente zum einen dem direkten Wissenstransfer an relevante Gruppen. Zum anderen wurden die gefundenen Ergebnisse hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz diskutiert und Anregungen zur Interpretation aufgegriffen. Im Anschluss an den Workshop fand eine Sitzung des Arbeitskreises Hinderniskennzeichnung des BWE statt. Dies wirkte sich unterstützend auf die Attraktivität des Workshops aus und weist zudem auf die ausgezeichnete Unterstützung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe hin.

Insgesamt 83 Gäste beteiligten sich am Workshop, Behördenvertreter, z. B. Bundes- und Landesministerien, Genehmigungsbehörden und Immissionsschutzbehörden, Wirtschaftsvertreter, z. B. Planungsbüros, Betreibergesellschaften und Hersteller sowie Fachverbände und Organisationen, z. B. BWE, DBU, deENet, U.A.N., DEWI. Der Workshop fand in sehr anregender und konstruktiver Atmosphäre statt (**Abbildungen 6/1 und 6/2**).

Den Abschluss des Workshops bildete eine Podiumsdiskussion, auf der sechs Experten zu den Ergebnissen und zur Zukunft der Hinderniskennzeichnung Stellung nahmen. Moderatorin war PD Dr. Gundula Hübner. Die Experten waren Behörden- und Verbandsvertreter sowie Piloten:

Konrad Hölzl

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat KI III 3 - Wasserkraft, Windenergie und Netzintegration der Erneuerbaren Energien



Abbildung 6/2: Anregende Gespräche (Foto: F. Meinel)

Andreas Kunte

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR)

Rüdiger Hildebrandt

Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein (LBV-SH)

Carlo Reeker

Bundesverband WindEnergie (BWE) - Mitglieder/Technik/Fachgremien

Hans-Georg Hammes

Luftwaffenamt, Luftwaffenkaserne Wahn, Abteilung Flugbetrieb in der Bundeswehr (LWA)

Martin Handschuh

Rettungsflieger des ADAC im Raum Halle (Saale)

Die Fachvertreter bewerteten die Studie als überzeugend und auch aus praktischer Perspektive belastbar. Insgesamt wurden die empirischen Ergebnisse als überraschend positiv wahrgenommen, da einige mit stärkeren Stresswirkungen gerechnet hatten. Obwohl die Ergebnisse keine erhebliche Belästigung durch die HK aufzeigten, wurde explizit davor gewarnt, sich auf diesem positiven Befund auszuruhen. Vielmehr wurde intensiv diskutiert, die bisherigen Maßnahmen, mit denen Lichtemissionen der HK minimiert werden können, unbedingt zu berücksichtigen und in Richtung einer bedarfsgerechten Befeuerng weiterzuentwickeln. Hervorgehoben wurde, dass die HK nur ein Akzeptanzfaktor unter verschiedenen sei und der Weg der reduzierten HK eine Akzeptanzsteigerung unterstützen wird. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden als solide wissenschaftliche Basis zur Versachlichung pauschaler Angriffe gegen die HK sowie als handlungsleitende Bestätigung der bisherigen BWE-Empfehlungen eingeschätzt. Der BWE empfiehlt Sichtweitenregulierung, Synchronisation, Feuer W, rot einzusetzen, auf Xenon-Doppelblitze

zu verzichten und die Lichtstärke im jeweiligen Abstrahlwinkelbereich höchstens geringfügig zu überschreiten. Dies wurde ebenfalls in den Stellungnahmen der abschließenden Podiumsdiskussion deutlich.

6.2 Stellungnahmen der Podiumsexperten

BMU:

Das Erreichen der ambitionierten Ausbauziele für die Windenergie hänge in bedeutsamer Weise von deren Akzeptanz bei der Bevölkerung ab. Die Studie hätte nachgewiesen, dass die Hinderniskennzeichnung (HK) grundsätzlich von der Bevölkerung akzeptiert werde und zu keiner erheblichen Belästigung führe. Somit entstehe kein immissionsschutzrechtlicher Handlungsbedarf. Dennoch lägen aber unter bestimmten Bedingungen Belästigungen vor und damit Hemmnisse beim Ausbau der Windenergie. Diese Hemmnisse sind durch eine weitere Verringerung der Lichtemissionen abzubauen. In gemeinsamen Gesprächen im Ressortkreis sind auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse gemeinsame Empfehlungen zur Lichtemissionsreduktion abzuleiten. Es sei sinnvoll, in Pilotprojekten die bedarfsgerechte Befeuerung zu erproben, um sicherheitstechnische Bedenken zu klären und soweit wie möglich auszuräumen. Auch könnten die Rahmenbedingungen für breitere Einsatzmöglichkeiten der Blockbefeuerung überdacht werden. In Zukunft sollten von den heute gemäß AVV zulässigen HK-Varianten nur diejenigen mit den geringsten Störwirkungen eingesetzt werden dürfen. Eine entsprechende Änderung der AVV wäre zu prüfen. Eine europäische Harmonisierung der HK-Bestimmungen wäre anzustreben, z. B. über eine gemeinsame Position bzgl. der Kennzeichnungspflicht ab einer Höhe von 150 m bzw. 100 m.

LLUR:

Die Ergebnisse der Untersuchung trügen durch ihre solide wissenschaftliche Basis zur Versachlichung pauschaler Angriffe gegen die Befeuerung bei. Bei der Genehmigung von WEA sollte es Auflagen für die HK mit dem geringsten Belästigungspotenzial geben. Die bedarfsgerechte Befeuerung sei das Optimum. Sie werde demnächst in einem Pilotprojekt an der Grenze zu Dänemark getestet. Eine Harmonisierung der deutsch-dänischen HK-Vorschriften sei wünschenswert.

BWE:

Den Ergebnissen nach falle die Störwirkung der HK überraschend gering aus. Dieses positive Ergebnis weise auf die erfolgreiche Wirkung der BWE-Emp-

fehlungen hin. Um die Akzeptanz der Windenergie und damit weitere Projekte zu fördern, sollten diese Empfehlungen unbedingt umgesetzt werden. Auch die WEA benachbarter WP sollten synchronisiert werden. Die Bemühungen um den Einsatz der bedarfsgerechten Befeuerung z. B. durch Pilotprojekte seien voranzutreiben. Weiterhin sollten in der EU einheitliche HK-Regelungen eingeführt werden, z. B. gebe es trotz internationaler Empfehlungen der ICAO unterschiedliche nationale Vorschriften zur Höhe, ab der WEA zu kennzeichnen sind. Insbesondere die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte HiWUS-Studie habe die Diskussion um eine bedarfsgerechten Befeuerung vorangebracht (HiWUS, 2008). Deren Entwicklung sei ein Beitrag, um Deutschlands Position im Feld der internationalen WEA-Technologie zu stärken. Um das Ziel der angestrebten CO₂-Reduzierung zu erreichen, sollten sich die Windbranche und die Flugaufsichtsbehörden aufeinander zu bewegen und gemeinsame Regelungen finden.

Rettungsflieger:

Um am Tag sicher zu fliegen, sind nach Erfahrung von Herrn Handschuh FK-RB und bei sehr großen WEA ein zusätzlicher roter Turmstreifen ausreichend. Bei diesigem Wetter seien kurz unterhalb der Wolkendecke rote Spitzen besser erkennbar als Leuchten oder graue Flügel. In klarer Nacht seien WP mit Sichtweitenregulierung in 20 km Entfernung gut zu sehen. Die Synchronisation helfe, das Ausmaß des WP deutlich wahrnehmen zu können.

Eine bedarfsgerechte Befeuerung, die ab 10 km Entfernung vom WP reagiert, würde aus seiner Einschätzung akzeptiert und ermögliche sicheres Fliegen. Die Sicht eines Rettungsfliegers auf WEA unterschiedlicher Höhe demonstrierte Herr Handschuh anhand eines Fotos aus seinem Cockpit.

Militärischer Flieger:

An einen militärischen Flieger würden andere Anforderungen gestellt als an einen zivilen. Bezüglich der Tageskennzeichnung und sich drehender WEA-Rotoren bestehe Übereinstimmung mit dem Rettungsflieger. Bei stehender WEA sollte es ein blitzendes Licht geben. Beim Nachtflug würden in Spezialbrillen eingebaute Restlichtverstärker verwendet, so dass eine Befeuerung nicht unbedingt erforderlich sei. Werde der WP nachts zu hell befeuert, sei dies sogar störend. Bei einem konventionellen Nachtflug sei auf eine Befeuerung nicht zu verzichten. Eine bedarfsgerechte Befeuerung mache Sinn, erfordere aber eine zuverlässige Technik. Eine Transponderlösung werde bevorzugt, da alle Flugzeuge der Bundeswehr mit Transpondern ausgestattet seien.

LBV-SH:

Wenn die technische Machbarkeit nachgewiesen sei und die rechtlichen Voraussetzungen gegeben seien, dann sei die bedarfsgerechte Befeuerung zu befürworten. Bei den derzeit gegebenen Möglichkeiten sei der Einsatz der Synchronisation und der SWR zu fördern.

6.3 Fazit

Auch die Experten der Podiumsdiskussion begrüßten die Schlussfolgerung aus den Ergebnissen, dass kein Handlungsbedarf im Sinne des Immissionsschutzrechts bestehe. Anerkannt wurden das Bedürfnis der Anwohner nach Reduzierung der Lichtemission und der Wunsch nach bedarfsgerechter Befeuerung. Kontrovers diskutiert wurde allein, wie eine bedarfsgerechte Befeuerung bei gleichzeitiger Flugsicherheit im zivilen Flugbereich erreicht werden kann. Unabhängig von dieser offenen Frage bestand Einigkeit, dass nach Erprobung der Technik und Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen die Zukunft der HK der bedarfsgerechten Befeuerung gehöre.

7 Empfehlungen

Übergeordnete Bewertung des Belästigungs- ausmaßes

Untersucht wurden Stresswirkungen der Tageskennzeichnungen (Xenon, LED, FK-RB), der Nachtkennzeichnung, der Synchronisation, Sichtweitenregulierung (SWR) sowie deren Wirkung in unterschiedlicher WP-Umgebung. Erfasst wurden subjektive Angaben der Befragten zu zentralen, differenzierten Stressindikatoren. Basierend auf der Gesamtschau der gefundenen Stresseffekte konnte keine erhebliche Belästigung i. S. der Begrifflichkeiten des Immissionsschutzgesetzes nachgewiesen werden (BlmSchG, 1998; Feldhaus, 1999). Maßgeblich für diese Bewertung sind der geringe mittlere Ausprägungsgrad der Indikatoren bzw. die geringe relative Häufigkeit zentraler Indikatoren in der Gesamtstichprobe.

Im Vergleich fühlten sich die Anwohner durch die Landschaftsveränderung und die WEA-Geräusche stärker belästigt als durch die HK. Als vergleichbar stark zur Nachtkennzeichnung nahmen die Anwohner Belästigung durch den periodischen Schattenschwurf wahr.

Empfehlung: Es wurden keine erheblichen Belästigungen i. S. d. BlmSchG durch die HK nachgewiesen – gleichwohl erscheint auch eine Anpassung des BlmSchG nicht erforderlich. Aufgrund der differenzierten Bewertung werden aber im Folgenden Empfehlungen für eine Anpassung behördlicher Richtlinien und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV) gegeben.

Differenzierte Bewertung

Tageskennzeichnung: Die untersuchten Tageskennzeichnungen lösten auf niedrigem Gesamtniveau klar unterscheidbare Stresseffekte aus. Die relativ breitesten und stärksten Stresswirkungen traten bei der Xenon-, die schwächsten bei der LED-Befeuerung auf (Belästigungsindikatoren, Ablenkung, Beeinträchtigung von Tätigkeiten und Freizeitaktivitäten, Maßnahmen zur Stressbewältigung). Die FK-RB nahm in der Regel eine Mittelposition ein, erzielten aber je nach Indikator ähnliche Wirkungen wie Xenon bzw. LED. Aber auch die insgesamt negativere Xenon-Wirkung bleibt im Rahmen einer zumutbaren Belästigung i. S. des Immissionsschutzgesetzes.

Trotz dieses im Sinne des Anwohnerschutzes positiven Ergebnisses weisen wir ausdrücklich auf

die Akzeptanz beeinflussende Wirkung der HK hin. Denn obwohl keine erhebliche Belästigung vorliegt, hängen die Gesamtbewertung des WP und sogar die allgemeine Akzeptanz der Windenergie von der Tageskennzeichnung ab: Anwohner eines Xenon-WP bewerteten diesen im Vergleich zu den anderen Anwohnern als negativer verbunden mit stärkerer Belästigung/Beeinträchtigung, verschlechterter Lebensqualität und Stimmung in der Gemeinde, vermindertem Immobilienwert und Vertrauensverlust zu den WEA-Akteuren. Es zeigte sich bei ihnen zudem eine geringere allgemeine Akzeptanz für die Windenergie. Sämtliche hier getroffenen Empfehlungen sind daher immer auch vor dem Hintergrund der allgemeinen Akzeptanzförderung der Windenergienutzung relevant.

Empfehlung: Um die Immissionen und Belastungen für die Anwohner zu verringern und die Akzeptanz der Windenergie zu erhalten bzw. zu steigern, wird empfohlen, auf die Xenon-Befeuerung zu verzichten – zumal mit LED und der FK-RB vorteilhaftere Alternativen zur Verfügung stehen.

Nachtkennzeichnung: Mehr als ein Viertel der Anwohner erlebten die Nachtkennzeichnung bei bestimmten Wetterlagen als besonders belästigend. Die relativ stärkste Belästigung trat bei wolkenloser Nacht auf – unabhängig davon, ob die Lichtsignale synchronisiert oder sichtweitenreguliert waren. Zwar beruht dieser Befund auf nur einem Stressindikator, dennoch werden aufgrund des relativ hohen Prozentsatzes Betroffener – und vorliegender behördlicher Beschwerden – Empfehlungen zur Vorbeugung gegeben.

Empfehlung: Zu einer Verminderung der nächtlichen Belästigung ist in jedem Fall eine reduzierte Befeuerung zu empfehlen, die auch von den Befragten gewünscht wurde. Weiterhin sollte sichergestellt werden, dass die Lichtstärke im jeweiligen Abstrahlwinkelbereich höchstens geringfügig überschritten wird. Empfohlen wird daher eine Änderung der AVV in dem Sinne, dass die Nachtkennzeichnung anwohnergerecht auszugestaltet ist, d. h. den Einsatz von Xenon auszuschließen, Sichtweitenregulierung, Synchronisation und Blockbefeuerung einzusetzen.

Synchronisation: Synchronisierte HK sind bei bestimmten Wetterlagen von Vorteil. Bei bewölktem Tag und regnerischem Tag bzw. wolkenloser und regnerischer Nacht wirkten nicht synchronisierte Lichtsignale bei einem Viertel der Anwohner besonders belästigend. Auch dieser Befund basiert auf nur einem Stressindikator, der aber von einem relativ hohen Prozentwert Belästigter angeführt wurde.

Empfehlung: Zur Minimierung der Anwohnerbelastung wird die Synchronisation der Befeuerung empfohlen. Dies ist zudem ein eindeutiger Wunsch der Anwohner, der ggf. auch Eingang in die Genehmigungsverfahren nehmen sollte.

SWR: WP ohne SWR lösten relativ häufiger Stress reduzierende Maßnahmen aus als WP mit SWR (Anbringen und Einsatz von Sichtschutz, weniger Aufenthalt im Schlafzimmer, Einnahme von Schlafmitteln). Diese Stress regulierenden Maßnahmen waren zwar relativ erfolgreich, denn in den subjektiven Belästigungsindikatoren fanden sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen WP mit vs. ohne SWR. Es sollte jedoch nicht übersehen werden, dass etwa eine Stressbewältigung durch die Einnahmen von Schlafmitteln mit erheblichen Konsequenzen verbunden sein kann und als problematisch einzuschätzen ist.

Empfehlung: Um die Stresseffekte, Ausgaben für Material sowie Medikamenteneinnahmen zu mindern und zum Wohlbefinden der Anwohner beizutragen, wird dringlich eine SWR empfohlen. Diese sollte verpflichtend werden, d. h. in der AVV sollte nicht nur die maximale Lichtstärkenreduzierung, sondern zudem eine Mindestlichtstärkenreduzierung verpflichtend geregelt werden. Neben einer entsprechenden AVV-Änderung besteht für die behördliche Praxis immer die Möglichkeit, die Genehmigung von WEA mit einer Nebenbestimmung zur Lichtstärkenauslegung zu versehen.

Umgebung: Im Allgemeinen wurden WP in einfacher Umgebung als angenehmer erlebt als in komplexer Umgebung. In komplexer Umgebung fiel die allgemeine Akzeptanz für Windenergie bei Anwohnern mit FK-RB-WP deutlich geringer aus als in einfacher Umgebung. Bei nicht sichtweitenregulierten WP in einfacher Umgebung schilderten die Anwohner eine leichte Zunahme der Belästigung durch die Tages- und Nachtkennzeichnung über die Jahre.

Empfehlung: Generell ist eine SWR zu empfehlen. Zusätzlich sollte in komplexen Umgebungen LED statt FK-RB eingesetzt werden.

Stark belästigte Personen: Es ist davon auszugehen, dass in der Nähe jedes WP mehr als 10 % Anwohner leben, die durch akute sowie chronische, psychische und körperliche Beschwerden/Erkrankungen vorbelastet sind. Für diese Personengruppe kann die HK zu einer zusätzlichen, als stark beurteilten Belastung führen, deren Bewältigung erschwert ist. Eine Xenon-Befeuerung wirkt sich für diese Personen besonders negativ aus.

Empfehlung: Es wird empfohlen, die Besorgnisse dieser stark belästigten Personen ernst zu nehmen. Die Belästigung durch die HK fiele für sie sicher geringer aus, wenn der WP nur eine geringe WEA-Anzahl aufweist. Zudem könnte die öffentliche Wahrnehmung auf die Situation dieser erheblich belästigten Personen fokussieren. Generell sollte auf eine Xenon-Befeuerung verzichtet werden und die oben bereits empfohlenen Maßnahmen umgesetzt werden, um die Stresswirkung der HK weiter zu verringern. Nicht nur, um vorbelastete Personen zu unterstützen, sondern auch zur Steigerung der allgemeinen Akzeptanz.

Einflussgrößen: Von den möglichen, die Belästigung beeinflussenden Faktoren erwies sich die „Belastung während der Planungs- und Bauphase“ als einflussreichster Faktor. Erhöhte Belastungen während dieser Phase verstärken die wahrgenommene Belästigung durch die Tageskennzeichnung.

Faktoren wie Alter, Geschlecht, allgemeines Interesse für die Windenergie (Involvement), Region (Ost vs. West), Betriebsdauer des WP, WEA-Anzahl des WP und Entfernung zu den WEA hatten dagegen keinen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die Belästigung. Damit ist eine breite Übertragbarkeit der Befunde zu den Stresswirkungen auf andere WP- und Anwohner-Bedingungen möglich.

Empfehlung: Eine offene Informationspolitik während und eine bestmögliche Bürgerbeteiligung an der Planungs- und Bauphase eines WP kann dazu beitragen, eine mögliche spätere HK-Belästigung zu vermindern. Hierzu gehören beispielsweise Informationsveranstaltungen, moderierte Workshops, die Berücksichtigung der Bedürfnisse der verschiedenen Interessensgruppen, Besuch eines WP, Gespräche mit Anwohnern von WP, Beteiligung örtlicher Dienstleister und Ertragsbeteiligung, z. B. in Genossenschaftsform.

Anwohnerwünsche: Nach den Wünschen der Anwohner zur HK sollten die Lichtsignale schwächer und seltener leuchten sowie synchronisiert sein. Am stärksten wurde eine bedarfsgerechte Befeuerung gewünscht (interessanterweise nicht die vollständige Abschaffung der WEA-Befeuerung).

Empfehlung: Es wird empfohlen, die Bedürfnisse der Anwohner nach SWR und Synchronisation bei der Planung eines WP zu berücksichtigen. Der starke Wunsch nach bedarfsgerechter Befeuerung ist ein Argument, um Änderungen bestehender Richtlinien und Vorschriften anzustreben, wie z. B. der AVV.

Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz der Windenergienutzung

Die Befunde weisen daraufhin, dass die allgemeine Akzeptanz der Windenergie in einem gewissen Ausmaß von der Art der HK abhängig ist. So konnte gezeigt werden, dass eine Xenon-Befuerung die Akzeptanz deutlich verringert. Es ist jedoch zu betonen, dass die HK nur ein Faktor ist, der zur Akzeptanz beiträgt. Weitere wichtige Faktoren im Zusammenhang mit möglichen Stresswirkungen sind die Landschaftsveränderung, Geräusche und der periodische Schattenwurf. Um das positive Image der Windenergie zu erhalten, sollten jedoch unbedingt die vom BWE empfohlenen Maßnahmen zur HK umgesetzt werden, um Stresseffekte bei den Anwohnern zu mindern oder zu verhindern (BWE, 2007). Denn insgesamt unterstützen die Ergebnisse eindeutig den Einsatz von SWR, Synchronisation, LED oder FK-RB sowie die Einhaltung der Lichtstärke im jeweiligen Abstrahlwinkelbereich. Diese Maßnahmen nicht einzusetzen, dürfte sehr wahrscheinlich zu Akzeptanzproblemen führen. Adressaten zur Umsetzung der Empfehlungen sind hier vornehmlich Windparkbetreiber, aber auch die für die Genehmigung von WEA zuständigen Behörden, die im Genehmigungsbescheid die verbindliche Umsetzung der Empfehlungen aufnehmen können. Aus Sicht des Anwohnerschutzes sowie der allgemeinen Akzeptanz der Windenergienutzung und im Hinblick auf den angestrebten Ausbaus der Windenergienutzung ist vordringlich eine bedarfsgerechte Befuerung bei gegebener Flugsicherheit zu empfehlen. Um sicherzustellen, dass dies nicht zu einem erhöhten Sicherheitsrisiko im Luftverkehr führt, sind mögliche offene technische oder Sicherheitsfragen im Rahmen weiterer Vorhaben und Praxistests zu beantworten.

8 Literatur

- Abt, K. (1987). Descriptive data analysis: A concept between confirmatory and exploratory data analysis. *Methods of Information in Medicine*, 26, 77-88.
- Borkenau, P. & Ostendorf, F. (1993). NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae: Handanweisung. Göttingen: Hogrefe.
- Bortz, J. (1989). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bossini, L., Martinucci, M., Paolini, K. & Sastrogiovani, P. (2005). Panicagoraphobic spectrum and light sensitivity in a general population sample in Italy. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 50, 39-45.
- Box, G. E. P. (1954). Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems. II. Effects of inequality of variance and of correlation between errors in the two-way-classification. *Annals of Mathematical Statistics* 25, 484-489.
- Bundesanzeiger (2007). Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen. AVV, Bundesanzeiger Nr. 81/07.
- BImSchG (1998). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Oktober 1998 (BGBl. I, S. 3178).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009). *Strom aus Erneuerbaren Energien – Zukunftsinvestition mit Perspektiven*. Berlin: BMU.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (2007). *Verkehrsblatt*, 61 (10).
- BWE (2007). *Handlungsempfehlung für die Kennzeichnung von Windenergieanlagen*. Berlin: Bundesverband WindEnergie (siehe: http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Kennzeichnung/handlungsempfehlung_kennzeichnung.pdf).
- BWE intern (2008). *Psychologen erforschen Gefahrenfeuer*. BWE intern, 12, S. 5.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- Feldhaus, G. (1999). *Bundesimmissionschutzrecht. Band 1. Bundesimmissionschutzgesetz, Kommentar*. Heidelberg: Müller.
- Fields, J. M. (1993). Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 2753-2763.
- Gerbaldo, H., Cassady, S., Maurer, K. & Pieschl, D. (1997). The assessment of light intensity preference in psychiatric patients: A questionnaire. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 95, 236-241.
- Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) (2008). *Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften*. BGBl. I, 49, ausgegeben zu Bonn am 31. Oktober 2008, S. 2074.
- Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999). *Umweltpsychologie: Ein Lehrbuch*. Göttingen: Hogrefe.
- HiWUS (2008). *Entwicklung eines Hindernisbefeuerngskonzeptes zur Minimierung der Lichtemission an On- und Offshore-Windenergieparks und -anlagen unter besonderer Berücksichtigung der Vereinbarkeit der Aspekte Umweltverträglichkeit sowie Sicherheit des Luft- und Seeverkehrs – Kurzfassung des Abschlussberichts*. Osnabrück: Bundesverband WindEnergie.
- Homburg, A. & Matthies, E. (1998). *Umweltpsychologie: Umweltkrise, Gesellschaft und Individuum*. Weinheim: Juventa.
- Janke, W. & Wolffgramm, J. (1995). *Biopsychologie von Streß und emotionalen Reaktionen: Ansätze interdisziplinärer Kooperation von Psychologie, Biologie und Medizin*. In G. Debus, G. Erdmann & K.W. Kallus (Hrsg.), *Biopsychologie von Streß und emotionalen Reaktionen* (S. 293-347). Göttingen: Hogrefe.
- Job, R. F. S. (1988). Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 991-1001.
- Kunte, A. (2008, 2009). *Persönliche Mitteilungen 2008-2009*.

- Miedema, H. M. E. & Vos, H. (1999). Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 3336-3344.
- Nowak, S. (2006). Optische Immissionen von Windenergieanlagen und gesundheitliche Beschwerden – ein Praxisbeispiel. *Gesundheitswesen*, 68.
- Österberg, K., Persson, R., Karlson, B. Carlsson Eek, F. & Ørbæk, P. (2007). Personality, mental distress, and subjective health complaints among persons with environmental annoyance. *Human & Experimental Toxicology*, 26, 231-241.
- Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (1999). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (2000). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen: Laborpilotstudie. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Pohl, J. & Hübner, H. (2008a). Literaturstudie zur Stresswirkung von Befeuersystemen. Zwischenbericht vom 14.04.08 für die Phase 2 des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten HiWUS-Projekts: Befeuersystemdesign für Windenergieanlagenparks und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Pohl, J. & Hübner, H. (2008b). Literaturstudie zur Stresswirkung von Befeuersystemen. Abschlussbericht vom 30.04.08 für die Phase 2 des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten HiWUS-Projekts: Befeuersystemdesign für Windenergieanlagenparks und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Ruff, F. M. (1993). Psychische Verarbeitung von Gesundheitsgefahren durch Umweltbelastungen: Ein theoretisches Rahmenmodell. In K. Aurand, B. P. Hazard & F. Tretter (Hrsg.), *Umweltbelastungen und Ängste* (S. 85-112). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schreckenberger, D. & Felscher-Suhr, U. (2003). Belästigungswirkung von Straßenverkehrslärm. In R. Schuemer, D. Schreckenberger & U. Felscher-Suhr (Hrsg.), *Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm* (S. 49-72). Bochum: Zeus GmbH.
- Thompson, M. M., Zanna, M. P. & Griffin, D. W. (1995). Let's not be indifferent about (attitudinal) ambivalence. In R. E. Petty & J. A. Krosnick (Eds.), *Attitude strength: Antecedents and consequences* (pp. 261-386). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Trautwein, U. (2004). *Kurzform der Big Five*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- van Oel, C. J., Janssen, E. G. O. N., Alferdinck, J. W. A. M. & Ruigrok, J. (2007). Increased annoyance from light output of greenhouses in areas not familiar with greenhouses. Paper presented at the ENHR 2007 International Conference "Sustainable Urban Areas", June 25.-28., Rotterdam, Netherlands.
- Zimmer, K. & Ellermeier, W. (1997). Eine deutsch Version der Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 44, 107-110.
- Zimmer, K. & Ellermeier, W. (1998). Konstruktion und Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit. *Diagnostica*, 44, 11-20.

9 Vorträge und Außendarstellung

- Hübner, G. & Pohl, J. (2008). Umweltverträglichkeit der Hindernis-Kennzeichnungen von Windenergieanlagen: Forschungsbedarf. Hannover: HiWUS-Arbeitskreis, 12.3.
- Pohl, J. & Hübner, G. (2008). Stresswirkung von Befeuersystemen. Osnabrück: HiWUS-Abschlusspräsentation, 20.5.
- Pohl, J. & Hübner, G. (2008). Stresswirkung von Befeuersystemen. Jülich: 23. Summer School Renewable Energy, Fachhochschule Aachen – Solar-Institut Jülich, 18.9.
- Hübner, G., Pohl, J., Schröpper, S. & Mohs, A. (2008). Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hindernis-Kennzeichnungen von Windenergieanlagen. Berlin: BMU, Kick-off-Treffen zum Projekt, 2.10.
- Pohl, J. & Hübner, G. (2009). Stresswirkung von Befeuersystemen: Zwischenstand. Hannover: BWE-Arbeitskreis Kennzeichnung, 7.5.
- Pohl, J. & Hübner, G. (2009). Stresswirkung von Befeuersystemen: Zwischenstand. Berlin: BMU, Akzeptanz-Vernetzungstreffen, 23.6.
- Hübner, G. & Pohl, J. (2010). Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hindernis-Kennzeichnung von WEA: Forschungsergebnisse und Empfehlungen. Halle (Saale): Workshop: Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen – Ergebnisse eines Forschungsprojekts des BMU und LLUR Schleswig-Holstein, 17.2.
- Pohl, J. & Hübner, G. (2010). Akzeptanz von WEA: Forschungsergebnisse und Empfehlungen. Edemissen: Akteursforum der Klimaschutzagentur Region Hannover, 10.3.
- Hübner, G. & Pohl, J. (2010). The impact of aircraft obstruction markings on neighbours. EWEC, Warschau, 19.4.
- Hübner, G. & Pohl, J. (2010). Wirkung der Hinderniskennzeichnung auf Anwohner. 2. BWE-Jahrestagung "Erfolgreiches Repowering", Hamburg, 5.5.
- Pohl, J., Hübner, G. & Mohs, A. (2010). The impact of wind turbine aircraft obstruction markings on residents. Leipzig: 21st IAPS conference Vulnerability, Risk and Complexity: Impacts of Global Change on Human Habitats, 27 June – 2 July 2010, Leipzig, Germany, Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ.