

Machbarkeit der Detektion von Bewirtschaftungsereignissen an Windenergieanlagen

Runter Tisch Artenschutz

Bruntje Lüdtker, Nico Klar, Frank Musiol

Kassel, 19. Mai 2026



Stand der Technik

Fokus ist die Kette:

Erfassung → *Entscheidung* → *Reaktion* → *Nachweis*

Rahmenbedingung

- Abschaltrelevante Bewirtschaftungsereignisse im 250-m-Radius
- Relevante Tätigkeiten: Mahd, Ernte, Pflügen

Technologiepfade

- Optische Systeme (RGB)
- Thermische Systeme (IR/Wärmebild)
- Positions- & aktivitätsbasierte Systeme (GPS / ERP / Tracker)

Leistungsfähigkeit & Betrieb

- Abdeckung, Nacht- & Witterungstauglichkeit
- Klassifikation (Klassisch vs. KI)
- Reaktionsketten & Automatisierungsgrade

Reifegrad & Grenzen

- Praxiserfahrungen und heutiger Reifegrad
- Fehlende Benchmarks & Validierung

Technologiefade - 1: Optische Systeme (RGB)

RGB-Systeme liefern interpretierbare Evidenz und können Übersicht und Aufklärung kombinieren, sind aber stark von Sichtbedingungen abhängig und erfordern standortspezifische Planung.

- **Architektur:** Übersicht (Panorama/Weitwinkel) und/oder Pan-Tilt-Zoom (PTZ)-Kamera für Detektion und Aufklärung
- **Nachtbetrieb:** meist mit IR-Scheinwerfer
- **Verarbeitung:** Meist direkt im Turm (Industrie-PC), optional Server (Cloud)
- **Skalierung:** Je nach Topografie 2–8 Kameras pro Anlage; Vernetzung für dichte Parks

Grenzen:

- Dämmerung, Nebel, Gegenlicht, Regen und komplexe Hintergründe beeinflussen die Leistung
- Abschattung & Vegetation
- Begrenzte IR-Nachtreichweite, Reflexionen

Technologiefade – 2: Thermische Systeme (IR/Wärmebild)

Thermalsensorik ist robust bei Nacht und schlechter Sicht und wird teilweise hybrid mit visuellen RGB-Kameras kombiniert, um Tätigkeit und Nachweis zu verbessern.

- **Detektion:** Über Temperaturkontrast; robuste Erfassung auch bei Dunst oder Regen.
- **Tätigkeitseinordnung:** z.T. hybrid: Thermal detektiert, über visuelle RGB-Kameras klassifiziert und nachgewiesen
- **Aufwand:** Montage und Kosten höher als RGB; sinnvoll bei häufiger Nachtbewirtschaftung oder Nebellagen
- **Skalierung:** 2–8 Kameras pro Anlage; Lücken über Nachbaranlagen schließbar

Grenzen:

- **Begrenzte Semantik:** Tätigkeit oft nicht eindeutig unterscheidbar
- **Geringere Detailauflösung:** Objekte erkennbar, aber visuelle Nachweisführung schwierig
- **Temperaturabhängigkeit:** Geringer Kontrast bei warmem Boden oder homogener Umgebung.

Technologiepfade - 3: Positions- und aktivitätsbasierte Systeme

Positionsbasierte Systeme verzichten auf Bilddaten, und sind wetter- sowie nachtunabhängig, erfordern jedoch verlässlich gepflegte Datenflüsse (Tracker/ERP) und Kooperation der Bewirtschaftenden.



Datenquellen

ERP-Systeme, GPS-Tracker an Maschinen oder Anbaugeräten.



Logik

Geofences (Parkgrenzen, Prüfradien) + Wegenetze + Aktivitätssemantik.



Stärken

Geringe False-Positive-Raten; exakte zeitliche Zuordnung; visuelle Sensorik optional für Evidenz.



Herausforderungen



Datenqualität, Kooperationsbereitschaft, Plattformbetrieb, Monitoring, Batteriewechsel.

Grenzen:

- **Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit:** Funktion nur, wenn Tracker/ERP aktiv, korrekt konfiguriert und funktionsfähig sind
- **Kooperationsabhängigkeit:** Erfordert Mitwirkung der Bewirtschaftenden (Tracker am Gerät, korrekte Aktivitätskennzeichnung).
- **Kein visueller Nachweis:** Keine bildliche Evidenz bei Streitfällen oder Prüfung.

Möglichkeiten und Grenzen der technischen Machbarkeit

Die Reife ist hoch in der Erfassung, aber begrenzt in der autonomen Entscheidungsfindung. Hybridisierung und gestufte Automatisierung sind aktuell der robusteste Pfad.

Technische Reife <ul style="list-style-type: none">• Detektion von Maschinenaktivitäten weitgehend zuverlässig• Robuster Langzeiteinsatz weitgehend etabliert		Automatisierungspotenzial <ul style="list-style-type: none">• Teilautomatisierte Reaktionsketten bereits praxiserprobt• Positionsbasierte Systeme technisch bereits vollautomatisierbar
Klassifikationsgrenzen <ul style="list-style-type: none">• Tätigkeitsunterscheidung weiterhin fehleranfällig• Starke Abhängigkeit von Standort, Gerätetyp und Arbeitsmuster		Validierung & Anerkennung <ul style="list-style-type: none">• Keine standardisierten Benchmarks oder Validierungen• Vollautomatisierte Abschaltungen bislang nicht belastbar nachgewiesen

Offene Punkte

- Detektion nächtlicher Bewirtschaftungsereignisse
- Ausstehende Vereinheitlichung Länderregelungen (250 vs. 300m / Radius vs. Flurstücke)

Anwendung automatischer Systeme in der Praxis

Zum Vergleich: konventionelle Methode

Funktionsweise

- Vertraglich vereinbarte Meldepflicht durch Bewirtschaftende
- Meldung erfolgt zumeist telefonisch “rechtzeitig” (oft mind. 1 h vor Beginn)

Nachteile

- Hoher bürokratischer Aufwand, Kooperationsbereitschaft nötig
- Ständige Verfügbarkeit Betriebsführung
- Fehleranfällig
- Kaum Überprüfbarkeit durch zuständige Behörden

Anwendung automatischer Systeme in der Praxis

Assistierte Variante

Funktionsweise

- System überwacht Umgebung der WEA
- Bei Ereignis wird ein Signal mit Bildern übermittelt
- Verantwortliche Person entscheidet, ob Ereignis abschaltrelevant ist oder nicht
- Falls ja wird WEA manuell abgeschaltet

Vorteile

- Falsch-positive Abschaltungen werden bei ausreichender Kompetenz vermieden

Nachteile

- Durchgehend unmittelbare Verfügbarkeit von Verantwortlichen notwendig
- Zeitversatz zwischen Beginn des Ereignisses und Abschaltung unvermeidbar

Anwendung automatischer Systeme in der Praxis

Halbautomatisierte Variante

Funktionsweise

- System überwacht Umgebung der WEA
- Bei Ereignis werden die WEA automatisch abgeschaltet und Bilder übermittelt
- Verantwortliche Person entscheidet, ob Ereignis tatsächlich abschaltrelevant war
- Falls nein, wird WEA manuell wieder angeschaltet

Vorteile

- Kein bzw. geringer Zeitversatz zwischen Beginn des Ereignisses und Abschaltung
- Geringere Anforderung an Verfügbarkeit Verantwortlicher

Nachteile

- Falsch-positive Abschaltungen unvermeidbar, Dauer organisatorisch eng eingrenzbar

Anwendung automatischer Systeme in der Praxis

Autonome Systeme

Funktionsweise

- System überwacht Umgebung der WEA
- Bei Ereignis entscheidet das System, ob dies abschaltrelevant ist oder nicht
- Falls ja, schaltet es die WEA automatisch ab

Vorteil

- System arbeitet autonom, Assistenz durch Personen nicht notwendig

Nachteile

- System muss nicht nur sicher detektieren, sondern auch sicher zwischen relevant und nicht-relevant unterscheiden können

Anwendung automatischer Systeme in der Praxis

Autonome Systeme

Besondere Herausforderung

- Falsch-negative Detektionen müssen mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden

Anmerkungen

- Auch falsch-positive Detektionen müssen aus betriebswirtschaftlichen Gründen weitestgehend vermieden werden
- Diese sind jedoch auch bei autonomen Systemen manuell korrigierbar
- **Bislang sind autonome Systeme noch in der Entwicklung**

Eignungsnachweise

- Für Eignungsnachweise von Systemen wird die Entwicklung einer Standarderprobung vorgeschlagen
- Nicht Gegenstand dieses Projekts → Eckpunkte werden vorgeschlagen
 - Überwachungsgüte im Wesentlichen über technische Kenngrößen der Kameras nachweisbar
 - Detektion und Klassifikation über Erprobung der Software
 - Nicht im Feld (Aufwand!), sondern mit Standarddatensatz (soweit möglich)

Investitions- und Betriebskosten

- Kosten hängen vom jeweiligen System sowie der Windparkkonstellation ab
- Können also nicht pauschal angegeben werden
- Dürften sich bei Marktbelegung noch nach unten bewegen

- Modellrechnungen zeigen: Die Kosten für ein automatisches System liegen für einen Park aus 3 WEA über 20 Jahre zwischen 75.000 – 250.000 €
- Die Kosten der konventionellen Methode liegen in derselben Größenordnung (→ abhängig von der Zahl der Bewirtschafter und der Höhe der Vergütung)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Dr. Frank Musiol

frank.musiol@zsw-bw.de