

Abschluss-Kurzbericht

**Aktualisierung und Erweiterung des
Programmsystems
*WSExpert Baden-Württemberg***

Auftraggeber:

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen
und Naturschutz Baden-Württemberg
Griesbachstraße 1
76185 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	1
2	Grundlagen zur Repräsentativität synthetischer Windstatistiken	3
3	Vorgehensweise	5
3.1	<i>Entwicklung eines neuen zusätzlichen Prüfkriteriums</i>	5
3.2	<i>Programmtechnische Neuentwicklung</i>	6
4	Aufbau des Expertensystems WSExpert Baden-Württemberg	7
4.1	<i>Datenbasis</i>	7
4.2	<i>Interne Entscheidungskriterien</i>	8
4.2.1	Prüfschritt 1: Distanz zwischen Standort und Windstatistik	11
4.2.2	Prüfschritt 2: Ähnlichkeit umliegender Windstatistiken	11
4.2.3	Prüfschritt 3: Ähnlichkeit der Topographie	11
4.2.4	Prüfschritt 4: Höhenrepräsentativität	12
4.2.5	Prüfschritt 5: Ähnlichkeit zwischen skaliger und subskaliger Topographie am Standort	13
4.2.6	Ergebnis der Prüfung	13
4.3	<i>Programmtechnische Umsetzung</i>	16
5	Anleitung zum Umgang mit WSExpert BW	16
6	Datenlieferung	16

1 Aufgabenstellung

Die Arbeitsgemeinschaft IB Rau & METCON hat im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU) seit 2001 Windstatistiken / Ausbreitungsklassenstatistiken auf Basis mesoskaliger Modellrechnungen für die gesamte Landesfläche von Baden-Württemberg erstellt.

Obwohl die synthetisch erzeugten Ausbreitungsklassenstatistiken für ein vergleichsweise enges Raster von 500 x 500 m² vorliegen, können vor allem die Häufigkeiten von Windrichtung und Windgeschwindigkeit in einem topographisch stark gegliedertem Gelände, wie dies in Baden-Württemberg häufig anzutreffen ist, auch auf einer Skala kleiner 500 m erheblich variieren. Für eine gegebene Problemstellung ist deshalb im Einzelfall zu überprüfen, welche der zu einem Standort nächstgelegenen Windstatistiken die Verhältnisse am Standort am besten beschreibt. Solch eine Einschätzung setzt ist in aller Regel fundierte meteorologische Kenntnisse voraus.

Um den Behördenvertretern eine Entscheidungshilfe an die Hand zu geben und damit die praktische Nutzbarkeit der synthetischen Windstatistiken sicherzustellen und zu vereinfachen, wurde in den Jahren 2003/2004 im Auftrag der LFU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg von der ARGE IB Rau & METCON das Expertensystem *WSExpert* für den behördeninternen Gebrauch entwickelt. In mehreren Informations- bzw. Schulungsveranstaltungen in den Folgejahren wurde *WSExpert* bei den Behörden in Baden-Württemberg eingeführt.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser ersten Version von *WSExpert* lagen die synthetischen Wind- bzw. Ausbreitungsklassenstatistiken noch nicht für die ganze Landesfläche vor. Im Jahr 2011 sind die flächigen Berechnungen für einen Großteil der Bundesrepublik Deutschland fertig gestellt worden, so dass jetzt auch Windrosen in den Randbereichen zu den benachbarten Bundesländern von Baden-Württemberg vorliegen.

Diese bisher in *WSExpert* vorhandene Datenlücke, die nicht mehr aktuellen grafischen Darstellungen (und zwar insbesondere die im bisherigen *WSExpert* hinterlegten topographischen Karten (© LUBW, LGL)), und die mittlerweile vorliegenden neuen Datensätze waren die maßgeblichen Gründe für die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, die ARGE mit der Aktualisierung des Programmsystems *WSExpert* zu beauftragen. Das Programmsystem wird zukünftig unter dem Namen *WSExpert Baden-Württemberg (WSExpert BW)* geführt werden.

Im Zuge der Aktualisierung und Erweiterung wurden die folgenden Punkte bearbeitet:

- Komplettierung der synthetischen Windrosen in *WSExpert BW* für die gesamte Landesfläche von Baden-Württemberg;
- Aktualisierung der hinterlegten Windrosen auf den derzeit aktuellen Bezugszeitraum 2001 bis 2010;
- Prüfung, Anpassung und Ergänzung der bisher hinterlegten Beurteilungskriterien vor dem Hintergrund der Erfahrungen, die im Umgang und in der Verwendung mit den synthetischen Windrosen in den letzten Jahren in der alltäglichen Praxis gemacht wurden;
- Verwendung von aktuellen und qualitativ hochwertigeren topographischen Karten (© LUBW, LGL);
- Erweiterung der Standortkoordinateneingabe, um unterschiedliche Koordinatenbezugs-systeme eingeben bzw. in andere Koordinatenbezugssysteme umrechnen zu können.

Seit der Entwicklung von *WSExpert* in den Jahren 2003/2004 ist das Programmsystem nicht aktualisiert worden. Es basiert auf einer damals aktuellen, inzwischen aber veralteten GUI-Entwicklungsumgebung, die nicht mehr unterstützt wird. Deshalb kann das bestehende Programmsystem weder aktualisiert noch um die gewünschten Eigenschaften ergänzt werden. Aus diesem Grund musste im Zuge der Aktualisierung und Erweiterung das Programmsystem größtenteils überarbeitet und erneuert werden. Einzelne auf der Programmiersprache FORTRAN basierende Module konnten als Grundlage einer Neuimplementierung verwendet werden; allerdings mussten ca. 80 % bis 90 % des Programm-Codes vollkommen neu erstellt werden.

Im Folgenden wird, nach einer generellen Diskussion zur Repräsentativität synthetischer Windstatistiken in Kapitel 2, in Kapitel 3 ein neu implementiertes Prüfkriterium erläutert, bevor in Kapitel 4 der gesamte Prüfablauf detailliert beschrieben wird. In Kapitel 5 „Anleitung zum Umgang mit *WSExpert BW*“ wird auf das Benutzerhandbuch Version 3.1.0 vom August 2015 verwiesen. Kapitel 6 gibt Hinweise zur Datenlieferung des Programmsystems.

2 Grundlagen zur Repräsentativität synthetischer Windstatistiken

Messungen werden *punktuell* gewonnen und sind daher streng genommen lediglich für den Messstandort repräsentativ. Nur bei günstiger Wahl des Messstandortes hinsichtlich einer homogenen Oberflächenstruktur (ebenes oder nahezu ebenes Gelände, einheitlicher Bewuchs, keine maßgebliche Beeinflussung durch umgebende Bebauungsstrukturen) können Messungen auch für einen größeren Umgebungsbereich als repräsentativ angesehen werden.

Im Gegensatz zu Messungen werden die synthetischen Windstatistiken aus Modellrechnungen abgeleitet, die Volumenmittelwerte über die dem Berechnungsmodell zugrunde gelegten Gitterzellen darstellen. Dies ist in zweierlei Hinsicht von Bedeutung:

- a) Wegen der in den Modellrechnungen verwendeten Gitterauflösung sind die synthetischen Statistiken horizontal immer für Flächen von 500 x 500 m² repräsentativ. Da im Modell sowohl die Geländehöhen als auch die charakteristischen Parameter der unterschiedlichen Flächennutzungen (Vegetation, Bebauung, etc.) über die Grundfläche einer Gitterzelle gemittelt werden, können bezüglich der Gitterauflösung subskalige Strukturen nicht aufgelöst und somit hinsichtlich ihrer Wirkung auf die lokalen Strömungsverhältnisse nicht berücksichtigt werden. So werden beispielsweise die spezifischen Windverhältnisse an den Hängen eines steilen Hügels von 200 m Basisdurchmesser vom Modell nicht aufgelöst. Der Hügel zeigt sich im Modellgitter lediglich in einer gegenüber der Umgebung geringfügig höheren mittleren Geländehöhe in einem Gittervolumen.
- b) Subskalige Strömungshindernisse wie Vegetation oder Bauungen werden im Modell über das Konzept der Rauigkeitslänge und die Ähnlichkeitsannahmen in der Prandtl-Schicht in ihrer Wirkung auf die Strömungsverhältnisse berücksichtigt. Nach dem Konzept der Rauigkeitslänge stellt sich über einer weitgehend homogenen Fläche dicht stehender Einzelhindernisse (Gras, Getreidefeld, usw.) ein vertikales Windprofil ein, das in Höhe der Rauigkeitslänge über Grund auf null zurückgeht und darüber einem mehr oder weniger logarithmischen Profil mit der Höhe folgt. Bei höheren Hindernissen (Wald, Bebauung) ist die Rauigkeitslänge nicht auf den Boden, sondern auf eine gewisse Höhe über Grund, die sogenannte Verdrängungshöhe zu beziehen. Die Strömung hebt in solchen Gebieten praktisch vom Boden ab. Innerhalb der Hindernisstrukturen bilden sich dann spezifische Strömungsverhältnisse aus, die mit den Ähnlichkeitsannahmen nicht zu beschreiben sind. Dies betrifft speziell Waldgebiete (Strömung innerhalb des Stamm- und Kronenbereichs) und städtische Bebauung (Strömung zwischen Gebäuden). Da in den Modellrechnungen

die Verdrängungshöhe weder explizit (z. B. in Form spezieller Parametrisierungen) noch implizit (z.B. als Zuschlag zur Geländehöhe) berücksichtigt wird, sind die für 10 m über Grund berechneten synthetischen Windstatistiken als repräsentativ für eine Höhe von ca. 10 m oberhalb der mittleren Verdrängungshöhe zu interpretieren. Die mittlere Verdrängungshöhe über einem definierten Gebietsausschnitt liegt typischerweise in der Größenordnung der mittleren Hindernishöhe bezogen auf die Gesamtfläche des Gebietsausschnitts.

Gerade aufgrund der vorgenannten Einschränkungen entsprechen die synthetischen Windstatistiken bzgl. ihrer Repräsentativität eher den Anforderungen der Praxis als punktuelle Messungen.

So werden z.B. zur Abschätzung der Immissionssituation in einer kleinräumigen Skala (Modellgebietsgröße 1 km²) um einen geplanten Standort die räumlich mittleren Windverhältnisse im Beurteilungsgebiet benötigt, nicht aber die möglicherweise nur lokal am Standort einer Messung vorherrschenden Verhältnisse. Geht es um eine Beurteilung im Bereich von Bebauungsstrukturen, werden in der Regel Ausbreitungsrechnungen mit mikroskaligen Modellen (z.B. mit dem mikroskaligen, prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM) durchgeführt, die als Antriebsdaten Windstatistiken benötigen, die eine möglichst ungestörte Strömung über Dach für den Bereich des Rechengebiets wiedergeben. Dieser Anforderung kommen die synthetischen Statistiken in ihrer Repräsentativität von ca. 10 m oberhalb der Verdrängungshöhe sehr nah.

Die hier erläuterten Vorüberlegungen zur Repräsentativität der synthetischen Statistiken spielen sowohl bei der Interpretation und Verwendung durch die Nutzer als auch für die in den folgenden Abschnitten dargestellten internen Entscheidungskriterien des Expertensystems *WSExpert BW* eine wichtige und entscheidende Rolle.

3 Vorgehensweise

3.1 Entwicklung eines neuen zusätzlichen Prüfkriteriums

In der bisher vorliegenden Version des Programmsystems *WSExpert* sind vier Prüfkriterien implementiert, die im Folgenden noch einmal kurz beschrieben werden.

- 1) Liegt der Standort weniger als 100 m von einer umgebenden Windrose entfernt, dann wird diese nächstgelegene Rose in erster Näherung als für den Standort geeignet eingestuft.
- 2) Sind die einen Standort umgebenden Windrosen ähnlich, dann wird die dem Standort am nächsten liegende gewählt.
- 3) Falls sich der Standort zwischen den umgebenden Rosen außerhalb der 100 m-Zone befindet und die umgebenden Windrosen gemäß den festgelegten Bewertungsmaßstäben nicht ähnlich sind, wird eine Topographie-Analyse sowohl um den Standort als auch um jede einzelne der umgebenden Windrosen durchgeführt. Auch hier erfolgt die Bewertung, welche der Windrosen bzgl. der Umgebung am meisten der Umgebung des Standortes ähnelt, anhand von statistischen Qualitätsparametern. Sowohl bei Prüfschritt zwei als auch bei Prüfschritt drei wurden die Bewertungsmaßstäbe im Zuge aufwändiger Tests geprüft.
- 4) Es erfolgt eine Prüfung auf Relevanz von Kaltluft. Dabei erfolgt, wenn die Quellhöhe am Standort deutlich höher als die mittlere Kaltluftschichtdicke ist, ein Hinweis für den Anwender.

Diese vier aufgeführten Prüfkriterien werden im Grundsatz bei der hier vorgestellten aktualisierten Version *WSExpert BW* beibehalten. Erweitert wird das Programmsystem *WSExpert BW* um ein weiteres wichtiges Prüfkriterium, das sich in der Arbeit mit den synthetischen Windrosen und *WSExpert* in den vergangenen Jahren als wichtig herausgestellt hat. Die synthetischen Windrosen sind repräsentativ für das zugrunde liegende Rechenraster von 500 x 500 m². Subskalige topographische Strukturen mit deutlich unter 500 m Ausdehnung werden somit nicht aufgelöst. Es muss deshalb zusätzlich zu den unter 1) bis 4) aufgeführten Kriterien eine Prüfung dahingehend erfolgen, ob die Windrose repräsentativ für die am Ort der Windrose vorliegende Topographie ist. Falls dies nicht oder nur eingeschränkt der Fall sein sollte, wird ein Warnhinweis erfolgen, dass die Situation von einem Experten eingeschätzt werden muss. Für diese Prüfung wurde im Rahmen der Aktualisierung von *WSExpert* das neue Kriterium „subskalige Topographie“ entwickelt. Hierfür wurden iterative Berechnungen durchgeführt, Bewertungskriterien definiert und die Ergebnisse der subskaligen Prüfung flächendeckend, auch auf Kompatibilität mit den anderen vier Kriterien, geprüft.

3.2 Programmtechnische Neuentwicklung

Das Gesamtprogramm *WSExpert BW* wurde unter Verwendung der GUI-Bibliothek Winteracter neu in FORTRAN mit Windows-API-Funktionen implementiert. Damit war eine vollständige Umstellung der internen Programmstruktur verbunden, die auch eine überwiegende Neuprogrammierung der aus der Vorgänger-Version vorhandenen FORTRAN-Routinen notwendig machte. Die neu entwickelte „subskalige Prüfung“ wurde in das Gesamtprogramm implementiert. Des Weiteren erfolgte die Aufbereitung und Aktualisierung der Archive, die die topographischen Karten (© LUBW, LGL), das digitale Höhenmodell sowie die synthetischen Windstatistiken enthalten. Die für die Entwicklung der Benutzeroberfläche vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten topographischen Daten (© LUBW, LGL) wurden verschlüsselt, dass sie nicht ausgelesen werden können.

4 Aufbau des Expertensystems WSExpert Baden-Württemberg

4.1 Datenbasis

Die folgenden Daten bilden die Grundlage der in *WSExpert BW* implementierten Entscheidungskriterien zur Beurteilung der Eignung bzw. der Repräsentativität einer synthetischen Windstatistik für einen beliebigen Standort:

- Geländehöhen für das Bundesland Baden-Württemberg in einer räumlichen Rasterauflösung von 50 m;
- synthetische Windstatistiken für das Land Baden-Württemberg in einer räumlichen Rasterauflösung von 500 m für den aktualisierten Bezugszeitraum 2001 bis 2010;
- „dynamische“ Windstatistiken¹ für das gleiche Teilgebiet;
- simulierte Kaltluftschichtdicken und die zugehörigen Häufigkeiten.

Vom potentiellen Nutzer des Programmsystems *WSExpert BW* sind folgende Angaben zu dem angefragten Standort bereitzustellen:

- Standortkoordinaten, die in folgenden Koordinatensystemen vorliegen können:
 - Gauß-Krüger Koordinaten (3 Grad breite Streifen) DHDN/PD (DE 2001 ±3m), Rauenberg, Bessel – Meridianstreifen 3 (9 Grad E);
 - UTM Koordinaten (nördliche Hemisphäre) ETRS89 (Europa), geozentrisch, GRS80 – Meridianstreifen 32 (9 Grad E);
 - Geografische Koordinaten (Greenwich) [Grad] WGS84 (Weltweit GPS), geozentrisch;
- Quellhöhe über Grund.

¹ Die synthetischen Windstatistiken wurden aus stationären Modellsimulationen für 120 typische großräumige Wettersituationen („dynamische Simulationen“) und instationäre Simulationen für 13 schwachwindige Nachtsituationen („Kaltluftsimulationen“) abgeleitet. Die hier und in den Folgeabschnitten als „dynamische Statistiken“ bezeichneten Windstatistiken sind nur aus den dynamischen Simulationen abgeleitet und beinhalten daher keine nächtlichen Windsysteme, die in einigen Lagen des Teilgebiets von erheblicher Bedeutung für die charakteristischen Windverhältnisse sind. Details zur Einbindung nächtlicher Windsysteme finden sich im Abschlussbericht zur Berechnung der synthetischen Windstatistiken.

4.2 Interne Entscheidungskriterien

Aufgabe von *WSExpert BW* ist es, dem Anwender eine Empfehlung zu geben, welche synthetische Windstatistik für den von ihm vorgegebenen Standort als geeignet angesehen werden kann. Idealerweise arbeitet *WSExpert BW* dazu programmintern genau die Arbeitsschritte ab, die auch ein „menschlicher Experte“ mit den erforderlichen meteorologischen Fachkenntnissen zur Grundlage seiner Beurteilung machen würde. Tatsächlich stellt sich aber die Schwierigkeit, dass

- a) zur Beurteilung keine allgemein anerkannten objektiven Kriterien existieren;
- b) jeder Experte teilweise unterschiedliche Kriterien, sowohl bewusst als auch unbewusst und intuitiv, anwendet;
- c) es in Einzelfällen vorkommen kann, dass unterschiedliche Experten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen;
- d) ein Experte sich in Zweifelsfällen weitere Informationsquellen erschließen kann, die nicht allgemein zugänglich, nicht für jeden Standort verfügbar oder objektiv nicht fassbar sind, wie bspw. eine Ortsbesichtigung.

Erfahrungsgemäß ist einerseits eine minimale Anzahl von Entscheidungskriterien notwendig, um zu einer belastbaren Entscheidung zu gelangen, die alle wesentlichen Einflussfaktoren berücksichtigt. Andererseits verbessert eine Vielzahl komplexer Entscheidungskriterien unter Einbeziehung aller zur Verfügung stehenden Daten nicht zwangsläufig die Qualität der Ergebnisse. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass mit jedem Entscheidungskriterium ein weiterer freier Parameter in das Gesamtsystem eingeführt wird. Die optimalen Werte dieser Parameter sind jedoch voneinander abhängig und müssen experimentell anhand von in der Fläche geprüften Einzelbetrachtungen bestimmt werden.

Es ist daher nicht zu vermeiden, dass *WSExpert BW* nicht in *jedem* Einzelfall zu einem eindeutigen und belastbaren Ergebnis kommen kann. In einem solchen Fall ist von dem Expertensystem auf die Notwendigkeit der Beurteilung durch den „menschlichen Experten“ hinzuweisen. Daraus ergeben sich aber als weitere Anforderungen an die Entscheidungskriterien, dass *WSExpert BW*

- einerseits bei eindeutig positiv zu beurteilenden Standorten (repräsentative Statistik ist vorhanden) möglichst selten auf den Rat eines Experten verweist,
- andererseits jedoch möglichst an keinem Standort, an dem der Expertenrat unbedingt erforderlich ist, eine der umliegenden Statistiken als repräsentativ ausweist.

Ausgehend von diesen Überlegungen sind in dem Expertensystem *WSExpert BW* die in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen Prüfschritte unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.1 genannten Datenbasis implementiert. Die Abarbeitung der verschiedenen Prüfkriterien ist in dem Flussdiagramm in Abb. 1 schematisch vereinfacht dargestellt.

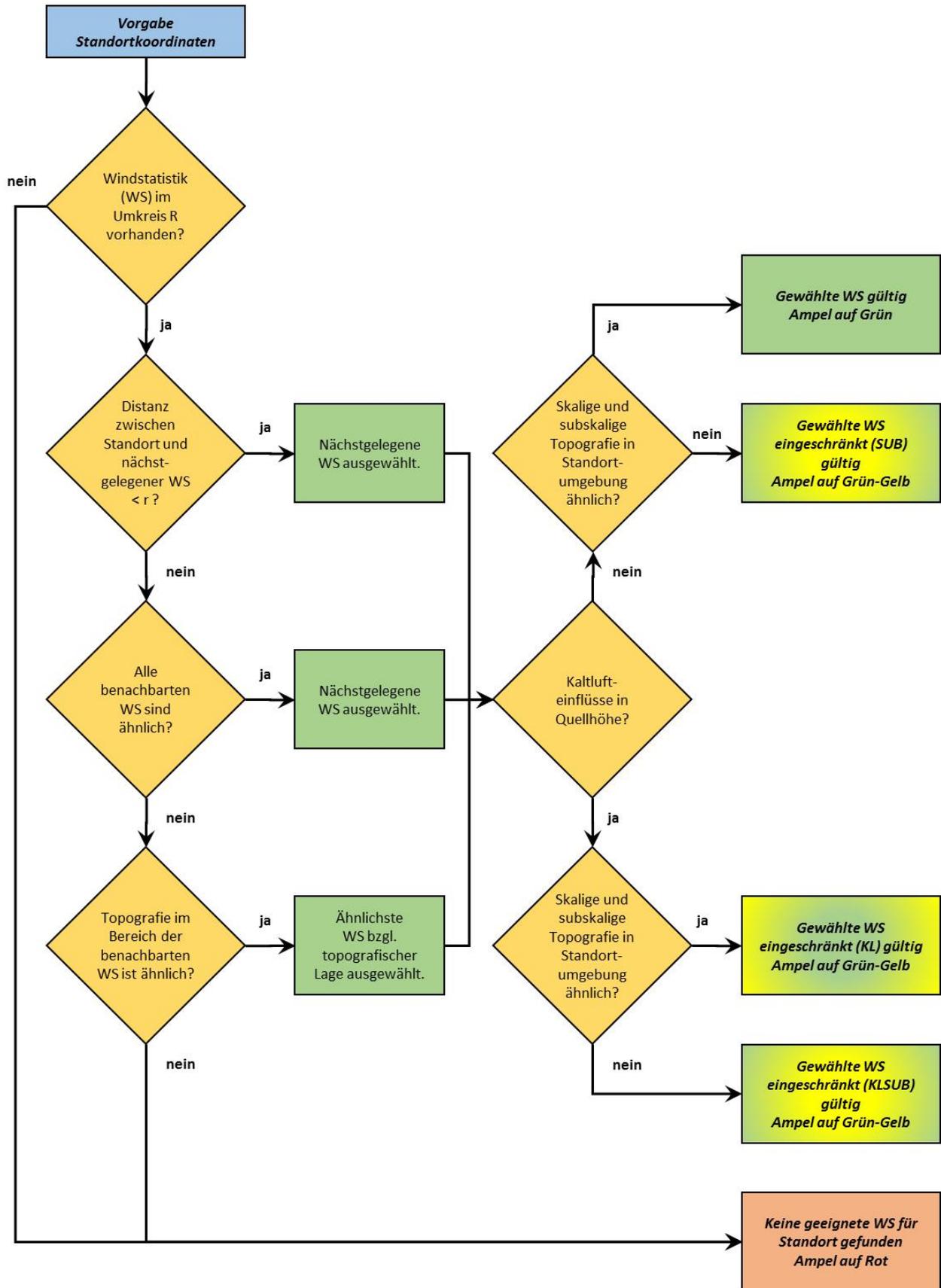


Abb. 1: Flussdiagramm der Entscheidungskriterien in WSExpert BW

4.2.1 Prüfschritt 1: Distanz zwischen Standort und Windstatistik

Im ersten Prüfschritt wird abgefragt, ob in einem definierten Umkreis um den Standort (SO) generell Windstatistiken zur Verfügung stehen. Ist dies der Fall erfolgt weitergehend eine Prüfung, ob der SO innerhalb einer Minimaldistanz zu dem Ort der nächstgelegenen Windstatistik (WSO) liegt, so dass grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die Windstatistik (WS) auch für den SO repräsentativ ist. Als Minimaldistanz ist in *WSExpert BW* eine Entfernung von 100 m definiert. Liegt innerhalb dieser Entfernung eine WS, so wird diese ausgewählt und die Prüfung mit dem Prüfschritt 4 fortgeführt. Ist dies nicht der Fall, folgt Prüfschritt 2.

Unterschiede in der Windcharakteristik zwischen SO und WSO können nur auf Inhomogenitäten im Gelände innerhalb der Minimaldistanz beruhen, die hinsichtlich des Modellgitters, das bei den Simulationsrechnungen zur Erzeugung der WS verwendet wurde, subskalig sind. Für die typischen Fragestellungen, für die das Expertensystem eingesetzt wird, sollen aber gerade subskalige Windcharakteristiken keine Berücksichtigung finden, wie in Kap. 2 erläutert.

4.2.2 Prüfschritt 2: Ähnlichkeit umliegender Windstatistiken

Falls nach Prüfschritt 1 keine dicht benachbarte Windstatistik gefunden wurde, werden alle WS in einer festgelegten Distanz zum SO wechselseitig auf Ähnlichkeit analysiert. Betrachtet werden dabei die Kanten der Bezugsflächen benachbarter WS. Auf Grund der Tatsache, dass die Koordinaten-Bezugssysteme in einigen Gebieten wechseln und die WS nicht zwingend auf dem regulären Raster von ursprünglich 500 m vorliegen, wurde diese Distanz mit $500\text{ m} + 10\% = 550\text{ m}$ festgelegt. Es ergeben sich somit minimal 8, maximal bis zu 17 umliegende WS, die wechselseitig auf Ähnlichkeit analysiert werden. Sind alle umliegenden WS einander ähnlich, kann angenommen werden, dass im weiteren Umkreis des SO keine wesentlichen Variationen der Windcharakteristik vorliegen. Somit kann die nächstgelegene WS für den SO als repräsentativ angesehen werden. Diese Statistik wird ausgewählt und es folgt Prüfschritt 4. Ist mindestens eine WS per Definition unähnlich, folgt Prüfschritt 3.

Als Maße für die Ähnlichkeit zweier WS werden die mittleren quadratischen Fehler zwischen den Häufigkeiten gleicher Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen sowie die Differenzen in den jahresgemittelten Windgeschwindigkeiten herangezogen.

4.2.3 Prüfschritt 3: Ähnlichkeit der Topographie

Dieser Prüfschritt berücksichtigt die Tatsache, dass die lokale Windcharakteristik im Wesentlichen von den topographischen Strukturen der Umgebung geprägt ist. So werden beispielsweise zwei Orte, die beide am Boden eines langgestreckten Tals liegen, auch dann eine ähnliche Windcharakteristik aufweisen, wenn sie mehrere Kilometer voneinander entfernt liegen.

In beiden Fällen tritt in der Regel eine Kanalisierung in Richtung der Talorientierung auf. Dagegen kann ein dritter, sehr viel näher liegender Ort eine deutlich andere Windcharakteristik aufweisen, wenn er in Hanglage liegt und von regelmäßig auftretenden nächtlichen Kaltluftabflüssen geprägt ist.

In diesem dritten Schritt wird die Topographie zwischen SO und allen unter Prüfschritt 2 innerhalb des dort genannten Umkreises liegenden WSO auf Ähnlichkeit analysiert. Sind SO und WSO hinsichtlich ihrer topographischen Lage ähnlich, kann aufgrund der Ähnlichkeit und der benachbarten Lage davon ausgegangen werden, dass beide Orte von ähnlichen dynamischen und thermodynamischen Strömungsprozessen geprägt sind und damit auch die Windcharakteristiken vergleichbar sind.

Die topographische Ähnlichkeit zweier Orte wird anhand mehrerer Maßzahlen analysiert, die auf den Gradienten der Hangneigungen in acht Richtungen, der Hangorientierung sowie der Fehlersummen über die Differenzen der einzelnen Maßzahlen beruhen. Anhand der Ähnlichkeitsanalyse werden mit hoher Treffersicherheit topographisch ähnlich gelegene Orte (Kuppe-Kuppe, Mulde-Mulde, Sattel-Sattel) erkannt. Von der Struktur her ähnliche Orte (z. B. in gleich orientierter Tallage) werden aber auch als unähnlich eingestuft, wenn sich z.B. umliegende Hangneigungen oder Hangorientierungen oberhalb gewisser Fehlergrenzen unterscheiden.

Nach der Berechnung aller Maßzahlen werden die umliegenden WSO in eine Rangfolge hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit zum SO sortiert. Falls der dem SO ähnlichste WSO eine Mindestähnlichkeit zum SO aufweist, wird die Windstatistik dieses WSO ausgewählt und die Prüfung mit dem Prüfschritt 4 fortgeführt.

4.2.4 Prüfschritt 4: Höhenrepräsentativität

Ist nach den vorangegangenen Prüfschritten eine repräsentative WS für den SO gefunden worden, so ist diese noch daraufhin zu untersuchen, ob sie für die vom Anwender vorgegebene Quellhöhe verwendet werden kann. An vielen Standorten sind die Verhältnisse deutlich von regelmäßig auftretenden thermodynamischen Windsystemen geprägt. Gerade nächtliche Kaltluftabflüsse weisen in der Regel nur eine vergleichsweise geringe vertikale Mächtigkeit auf. Somit können sich die charakteristischen Windverhältnisse oberhalb der typischerweise auftretenden Kaltluftschichtdicken markant von den bodennahen Verhältnissen unterscheiden. Werden Emissionen überwiegend oberhalb der Kaltluftströmung freigesetzt, verläuft deren Ausbreitung signifikant anders verglichen mit einer Freisetzung innerhalb der Kaltluftschicht.

Zur Prüfung, ob die ausgewählte WS am Standort auch für die vorgegebene Quellhöhe geeignet ist, wird die WS auf Ähnlichkeit zu dem rein „dynamischen“ Anteil der Windstatistik analysiert. Diese Ähnlichkeitsanalyse erfolgt analog zu der Ähnlichkeitsanalyse unter Prüfschritt 2.

Falls beide Statistiken ähnlich sind, kann davon ausgegangen werden, dass die WS nicht oder nur geringfügig von thermodynamischen Windsystemen geprägt ist. In diesem Fall gilt als maximale Quellhöhe, für die die Statistik verwendet werden sollte, ein aus grundsätzlichen Erwägungen definierter Maximalwert, der in *WSExpert BW* auf 50 m festgelegt ist.

Unterscheiden sich dagegen beide Statistiken signifikant, so wird die maximal zulässige Quellhöhe auf die Höhe festgelegt, die in 90 % aller Fälle von den lokalen Kaltluftschichtdicken nicht unterschritten wird. Damit ist sichergestellt, dass bei Verwendung der WS für Ausbreitungsrechnungen die Emissionen maximal in 10 % aller Fälle in einer Schicht oberhalb des Kaltluftsystems freigesetzt werden, für die die WS nicht mehr gültig ist.

Werden durch diese Prüfung Einschränkungen hinsichtlich der Höhenrepräsentativität festgestellt, erfolgt mit Ausgabe der WS eine Meldung (grüne Ampel mit gelbem Achtungszeichen) hinsichtlich eingeschränkter Höhenrepräsentativität. Auf die Prüfung der Höhenrepräsentativität folgt unabhängig vom betrachteten Fall der letzte Prüfschritt 5.

4.2.5 Prüfschritt 5: Ähnlichkeit zwischen skaliger und subskaliger Topographie am Standort

Als abschließende Prüfung wird die Umgebung des WSO, für den sich nach Durchführung der vorab beschriebenen Prüfschritte eine repräsentative WS ergeben hatte (grünes Ampelergebnis), analog dem Prüfschritt 3 (skalige Topoanalyse) auf subskalige Einflüsse untersucht.

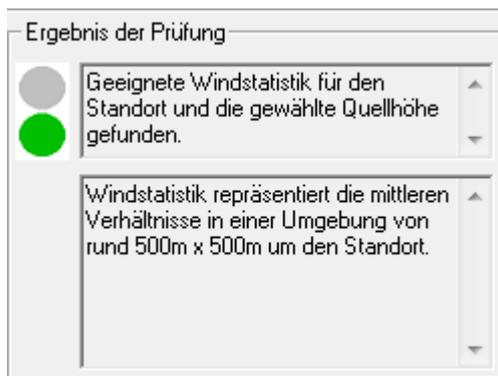
Sind die skalige und die subskalige Topographie am Standort der bisher ausgewählten WS ähnlich, wird ein grünes Ampelergebnis ausgegeben und die WS ist ohne Einschränkungen gültig. Bei zu großen Abweichungen zwischen der skaligen und der subskaligen Topographie wird auf die Möglichkeit von kleinskaligen topographischen Einflüssen am WSO hingewiesen, die in der WS nicht berücksichtigt werden können.

4.2.6 Ergebnis der Prüfung

Auf Basis der vorab beschriebenen Prüfschritte sind somit insgesamt fünf Prüfergebnisse möglich:

- Ein grünes Ampelergesult (geeignete Windstatistik für den Standort und die Quellhöhe gefunden) aus den Prüfschritten 1 bis 3 ohne Einschränkungen aus den Prüfschritten 4 und 5;
- ein grünes Ampelergesult mit gelbem Warnhinweis wegen möglicher Beeinflussung der bodennahen WS durch thermisch bedingte Windsysteme (geeignete Windstatistik für den Standort, aber nicht die Quellhöhe gefunden). In diesem Fall erfolgt die Einschränkung durch den Prüfschritt 4;
- ein grünes Ampelergesult mit gelbem Warnhinweis wegen kleinskaliger topographischer Effekte (geeignete Windstatistik für den Standort gefunden, die aber wegen kleinskaliger topographischer Effekte nur eingeschränkt gültig ist). In diesem Fall erfolgt die Einschränkung durch den Prüfschritt 5;
- ein grünes Ampelergesult mit gelbem Warnhinweis wegen kleinskaliger topographischer Effekte und wegen Unterschieden der WS in Bodennähe und in Quellhöhe (nur eingeschränkt geeignete Windstatistik für den Standort gefunden, da kleinskalige topographische Effekte und Unterschiede zwischen bodennaher Verteilung und der Verteilung in Quellhöhe). In diesem Fall erfolgt die Einschränkung durch die Prüfschritte 4 und 5;
- ein rotes Ampelergesult (keine geeignete Windstatistik für den Standort gefunden) aus den Prüfschritten 1 bis 3.

Die fünf möglichen Ergebnisse der Prüfung sowie die Texte der Prüfung sind im Folgenden zusammengestellt.



Für den zu prüfenden Standort wurde eine geeignete Windstatistik gefunden. Die entsprechende Windstatistik wird auf der topographischen Karte (© LUBW, LGL) rot eingefärbt.

Ergebnis der Prüfung

 Bodennahe Windstatistik für den Standort, aber nicht für die Quellhöhe gefunden.

 Bodennahe Statistik ist nur beschränkt repräsentativ für die Standortumgebung, weil Windverhältnisse in Quellhöhe von der bodennahen Statistik abweichen!

Für den zu prüfenden Standort wurde eine Windstatistik gefunden, die jedoch für die angegebene Quellhöhe nur einschränkt gültig ist. An diesem Standort weichen die Windverhältnisse in Quellhöhe von der bodennahen Statistik (10 m über Verdrängungshöhe) ab. Die entsprechende Windstatistik wird auf der topographischen Karte (© LUBW, LGL) rot eingefärbt.
Bitte Prüfungsanmerkungen beachten und ggfs. Experteneinschätzung einholen!

Ergebnis der Prüfung

 Eingeschränkt geeignete Windstatistik für den Standort und Quellhöhe gefunden.

 Standort ist möglicherweise von kleinskaligen topographischen Effekten beeinflusst, die in den Windstatistiken nicht enthalten sind! Experteneinschätzung nötig!

Für den zu prüfenden Standort wurde eine eingeschränkt geeignete Windstatistik gefunden. Die entsprechende Windstatistik wird auf der topographischen Karte (© LUBW, LGL) rot eingefärbt.
Bitte Prüfungsanmerkungen beachten und ggfs. Experteneinschätzung einholen!

Ergebnis der Prüfung

 Eingeschränkt geeignete Windstatistik für den Standort gefunden (siehe unten).

 Bodennahe Statistik nur beschränkt repräsentativ: 1.) Windverhältnisse bodennah und in Quellhöhe unterschiedlich. 2.) Wind am Standort möglicherweise von kleinskaligen topographischen Effekten beeinflusst, die nicht in Windstatistiken enthalten! Experteneinschätzung nötig!

Für den zu prüfenden Standort wurde eine eingeschränkt geeignete Windstatistik gefunden. Die entsprechende Windstatistik wird auf der topographischen Karte (© LUBW, LGL) rot eingefärbt.
Bitte Prüfungsanmerkungen beachten und ggfs. Experteneinschätzung einholen!

Ergebnis der Prüfung

 Keine geeignete Windstatistik für diesen Standort gefunden!

 Geländecharakteristik an allen benachbarten Windstatistiken weicht zu stark von der am Standort ab! Experteneinschätzung nötig!

Am Standort ist möglicherweise ein starker lokaler Einfluss durch Topographie gegeben. Deshalb kann WSExpert mit den implementierten Entscheidungskriterien keine für den Standort repräsentative Statistik bestimmen.
Bitte Prüfungsanmerkungen beachten; hier ist eine Experteneinschätzung nötig!

4.3 Programmtechnische Umsetzung

Das Expertensystem *WSExpert BW* wurde programmtechnisch in Form zweier Module realisiert. Die für den Anwender sichtbare Oberfläche entspricht den unter Windows-Betriebssystemen üblichen Standards und wurde im Unterauftrag durch die QT software GmbH, Berlin realisiert. Innerhalb der Oberfläche definiert der Anwender die Standortkoordinaten und Quellhöhe. Die Prüfergebnisse des Expertensystems werden in textlicher und graphischer Form dargestellt.

Der Kern des Expertensystems ist unter der Programmiersprache FORTRAN realisiert. Nach Übernahme der Standortdaten über eine Schnittstelle der Oberfläche werden aus dem Datenarchiv die für den Standort relevanten Daten entpackt und nach den Prüfschritten 1 bis 5 analysiert. Das Prüfungsergebnis wird über die Schnittstelle an die Oberfläche weitergereicht und dort dem Anwender visualisiert.

Alle Maßzahlen und Fehlergrenzen für die Analyseschritte sind über Parametersätze implementiert, die nach umfangreichen Tests auf die maßgeblichen charakteristischen Gegebenheiten in Baden-Württemberg eingestellt wurden.

5 Anleitung zum Umgang mit *WSExpert BW*

Details zu Installation sowie Umgang und Bedienung des Expertensystems *WSExpert BW Version 3.1.0 vom 26. August 2015* finden sich im Benutzerhandbuch Version 3.1.0, August 2015.

6 Datenlieferung

Die Datenlieferung des Programmsystems *WSExpert BW Version 3.1.0* erfolgte über einen ftp-Server, auf dem die Daten zum Download bereitgestellt wurden.

Die Verteilung des Programmsystems *WSExpert BW 3.1.0* für den behördeninternen Gebrauch erfolgt im Intranet über einen Download Link im UIS-Berichtssystem (BRS)/BRWeb. Den Behörden wird seitens der LUBW das für die Installation notwendige Password zugesandt.

Heilbronn, den 26. August 2015



(Dipl.-Ing. Matthias Rau)

Pinneberg, den 26. August 2015



(Dr. Klaus Bigalke)