©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz	N.F. 21	3	453 – 471	2014	Freiburg im Breisgau 17. November 2014

Klimatische Ursachen der östlichen Verbreitungsgrenze der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) im Schwarzwald

VON
JOHANNES WAGNER, STEFANIE GÄRTNER, ALBERT REIF (FREIBURG)*

Zusammenfassung: Auf der Basis der floristischen Kartierung von Baden-Württemberg sowie der modellierten Klimadaten dieses Bundeslandes konnten Zusammenhänge zwischen Klimaparametern und der Meereshöhe an der östlichen Arealgrenze der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) für die Region des Schwarzwalds analysiert werden. Hierfür wurden für jeden Fundpunkt der Stechpalme jeweils Referenzpunkte innerhalb (westlich) und außerhalb (östlich) des Vorkommensgebietes zugeordnet. Diese konnten durch Daten zu Meereshöhe und Klima charakterisiert werden. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Referenzpunkten ergaben die Grundlage für die Konstruktion der Ursachen der Arealgrenze im Schwarzwald.
Es zeigte sich, dass die Meereshöhe sowie - mit dieser korreliert - die Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres, die Minimaltemperaturen des Winters, die Mitteltemperaturen des Januars sowie die Anzahl der Frosttage die Gebiete mit *Ilex aquifolium* und ohne *Ilex aquifolium* am signifikantesten unterscheiden.
Für diese vier Klimaparameter wurden ihre Veränderungen mit zunehmender Meereshöhe analysiert. Die Beziehungen lassen sich durch Regressionsgleichungen ausdrücken. Aus den Mittelwerten dieser vier Klimaparameter sowie parallel dazu der Meereshöhe, jeweils in Verbindung mit der Standardabweichung, konnten Schwellenwerte und Obergrenzen der Vorkommen modelliert werden.
Es zeigte sich, dass die Stechpalme im Schwarzwald bei etwa 830 m NN ihre Obergrenze erreicht. Charakteristisch für die limitierende Obergrenze sind eine Mitteltemperatur des Winterhalbjahres bei 1,8 °C, eine Mitteltemperatur des Januars von -1 °C, eine mittlere Minimaltemperaturen des Winters von -3,2 °C, sowie 118 Frosttage.

Schlüsselwörter: *Ilex aquifolium*, Verbreitungsgrenze, Klima, Schwarzwald

---

* M. Sc. Johannes Wagner, Dr. Stefanie Gärtner, Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Reif, Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen, Professur für Standorts- und Vegetationskunde, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Climatic causes of the eastern distribution limit of holly (*Ilex aquifolium* L.) in Black forest

Abstract: The floristic mapping of Baden-Württemberg combined with climate model data from this federal state of Germany provided the base for an ecological analysis of the eastern distribution limit for the holly tree species ((Ilex aquifolium L.) within the "Black Forest" region which could be related to climatic parameters and elevation. For each mapped location where holly was found, two adjacent reference points were selected. These were located within (to the west) and outside (to the east) of the distribution limit. These reference points were characterized by climate and elevation data. The differences between these pairs of points provided the base used to construct the regional distribution limit of holly in the Black Forest.
It could be shown that elevation and the correlated parameters, mean winter air temperature (October – March), average minimum air temperature during winter, mean January air temperature and the number of days with frost were the parameters most significantly different because they were different inside and outside of the distribution limit of this species.
With respect to these four parameters, their change with increased elevation was analyzed. This relationship to elevation could be expressed in the form of regression equations. Based on the mean values of these four parameters as well as elevation, including the standard deviation, the climatic thresholds for holly and its upper distribution limit were calculated for that region.
It could be shown that in the Black Forest holly reaches its upper limit at about 830 m a.s.l.. Characteristic climatic thresholds related to that upper limit were a mean air temperature during the winter of 1.8 °C, a mean air temperature in January of -1 °C, a mean minimum temperature during winter of -3.2 °C, and 118 days of frost.

Keywords: *Ilex aquifolium*, distribution limit, climate, Black forest.

1. Einleitung

Immergrüne Laubbaumarten sind als besonders empfindlich gegenüber tiefen Wintertemperaturen bekannt. Ihre Ausbreitung wird vielfach Klimaveränderungen und insbesondere mit milderen Wintern in Zusammenhang gebracht (Walther et al. 2002).
Die Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) ist die einzige immergrüne Laubbaumart, deren Areal von Westen her kommend sich nach Mitteleuropa erstreckt. Da die Stechpalme keine wirtschaftliche Bedeutung für die Forstwirtschaft hat und als unterständige Baumart kein Konkurrent für den Hauptbestand darstellt, jedoch zur Biodiversität in Wäldern und im Offenland beiträgt, wird sie in der Regel von den Forstleuten toleriert und meistens auch nicht entnommen. Weiterhin steht die Stechpalme nach der Bundesartenschutz-Verordnung vom 16.02.2005, § 1, Absatz 1 unter besonde-

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

rem Schutz (BFN 2005). Die relativ ungestörte, naturnahe Verbreitungsgrenze der Stechpalme eignet sich daher für eine Analyse der Ursachen der natürlichen Arealgrenze, diese wiederum als Grundlage für Modellierungen im Rahmen des Klimawandels (vgl. WALTHER et al. 2005).

2. Biologie und Ökologie der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.)

Die Europäische Stechpalme oder „Hülse“ (*Ilex aquifolium*) ist ein sehr schattentoleranter Baum, sie findet sich jedoch oftmals auch strauchförmig im Unterwuchs von Wäldern. Von der Trophie her kommt sie von sauren Silikat- bis hin zu Kalkböden vor (vgl. auch für Großbritannien PETERKEN & LLOYD 1967). Klimatisch gesehen bevorzugt die Stechpalme ozeanisch getönte Gebiete. Ihr Areal erstreckt sich vom Iran, den Kaukasus über den Mittelmeerraum bis in das südliche Norwegen (ENGLER 1964; DEMUTH

Abb.1 : Verbissene Stechpalmen auf einer Kuhweide im Münstertal, 850 m NN. Sonnhalde, 25.9.2005 (A. Reif).

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

1992). Während die Südgrenze durch Trockenheit geprägt ist, sind an der Nord- und Ostgrenze extrem tiefe Wintertemperaturen und langdauernde Kälteperioden limitierend (CALLAUCH 1983).
Die Stechpalme kann kurzfristige Minimaltemperaturen bis -15 °C problemlos ertragen (SAKAI 1982). Ab Temperaturen von -18 °C bis -23 °C können Schäden an den Knospen und Zweigen auftreten (BERGER 2007; SAKAI 1982). CALLAUCH (1983) berichtet ebenfalls von einer Temperaturuntergrenze von -22 °C. Neben extremen Frösten kann bei anhaltenden Bodenfrösten auch Frosttrocknis zu Schädigungen führen (DÖRKEN 2013).
Bereits IVERSEN (1944) beobachtete, dass die Stechpalme extreme Winter in Dänemark nur dort überlebte, wo die Januartemperatur nicht unter -0,5 °C fiel. Für weite Gebiete konnte in der Folgezeit eine Übereinstimmung der östlichen Verbreitungsgrenze von *Ilex aquifolium* mit der 0 °C Isotherme der Januarmitteltemperatur (KÖLLING & WALTHER 2007; KORN et al. 2009) bzw. der -1 °C Isotherme der Januarmitteltemperatur (DEMUTH 1992) gezeigt werden. Für die Obergrenze der Vorkommen am Ätna in Sizilien wird ebenfalls eine mittlere Januartemperatur von 0 °C angenommen (MANISCALCO & RAIMONDO 2003).
Diese allgemeinen Befunde wurden in dieser Arbeit unter Zuhilfenahme detaillierter Kartierungen und statistischer Methoden für den Schwarzwald regional analysiert. Grundlage war der aktuelle Kartierungsstand der Verbreitung der Stechpalme in Baden-Württemberg (BREUNIG, pers. Mitt.) sowie der Klimaatlas von Baden-Württemberg (LUBW 2006). Die Ergebnisse bestätigten die arealbegrenzende Wirkung niedriger Wintertemperaturen.

3. Material und Methoden

3.1. Untersuchungsgebiet und Datenerhebung

Untersucht wurde die Vegetationsgrenze der Stechpalme im Schwarzwald. Hier wurde die Arealgrenze anhand des östlichen Verlaufes eines zusammenhängenden Ilex-Vorkommens konstruiert (Abb. 2). Entlang dieser konstruierten Arealgrenze wurden 53 Triplets gebildet, um einen ausreichend großen Stichprobenumfang zugrunde legen zu können. Alle Probepunkte weisen in Nord-südlicher Ausrichtung dieselbe Distanz zueinander auf. In westlicher wie in östlicher Richtung wurden Probepunkte 5 km entfernt von der Arealgrenze angelegt, um klimatischen Unterschiede zwischen den westlichen „*Ilex*-Gebieten“ und den östlichen „*Ilex*-freien“ Gebieten erfassen zu können.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

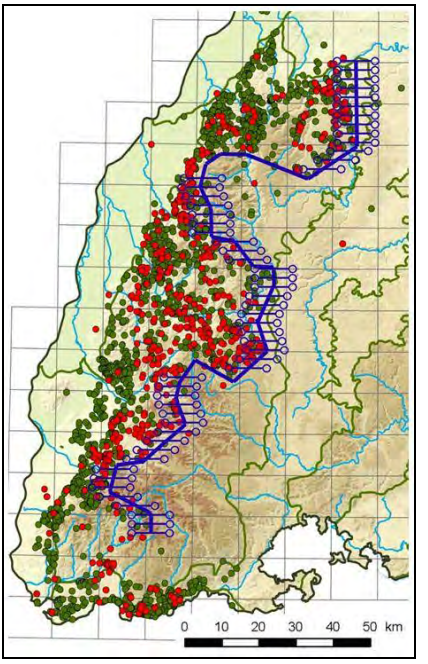

Abb. 2: Karte der Fundpunkte der Stechpalme (rote Kreise = Offenlandbiotopkartierung; grüne Kreise = Waldbiotopkartierung), Lage der hieraus konstruierten östlichen Arealgrenze im Schwarzwald, sowie Lage der jeweiligen Referenzpunkte der 53 „Triplets“ von Probepunkten innerhalb und außerhalb des *Ilex*-Areals zur Analyse der lokalen klimatischen Unterschiede. Kartengrundlage: Biotopkartierung Baden-Württemberg, Stand 2013, verändert.

Zur Erklärung der Ursachen der Arealgrenze wurden die Karten des Klimaatlas von Baden-Württemberg verwendet (vgl. LUBW 2006). Zur Erstellung des Klimaatlas wurden aus den umliegenden Messstationen sowie der Topographie durch Interpolationen und Regressionen Klimakarten konstruiert. Da es sich hierbei um interpolierte Daten handelt, sollte der Abstand innerhalb eines „Triplets“ von Probepunkten möglichst gering sein und dennoch die Klima-Unterschiede widerspiegeln. Daher wurde hier der Abstand von 10 km nicht überschritten (LUBW 2006).

3.2 Datenumfang

Folgende Parameter wurden erhoben, statistisch ausgewertet und deren Ergebnisse kritisch analysiert.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Um die Temperatur als limitierenden Faktor zu untersuchen, werden die Mittel- und Minimaltemperaturen des gesamten Jahres, des Sommer- (April-September) und des Winterhalbjahres (Oktober-März), des Winters (Dezember-Februar) und explizit des Monat Januar erhoben. Bei allen in der Arbeit genannten Temperaturen handelt es sich um die Lufttemperatur in 2 Metern über dem Boden.
Um die besondere Empfindlichkeit von immergrünen Pflanzen als limitierenden Faktor zu untersuchen, werden die Häufigkeiten von Frost- und Eistagen pro Jahr erhoben.
Kontinentalitätsindices spiegeln die thermische Kontinentalität wieder.
Um die Besonderheiten der Topographie als limitierenden Faktor zu untersuchen, wird eine Höhenverteilung erhoben.
Um die Wasserversorgung als limitierenden Faktor einzubeziehen, werden die Jahresmitteltemperaturen und die Jahresniederschläge sowie die Halbjahresmitteltemperaturen und die Halbjahresniederschläge für das Sommerhalbjahr erhoben. Diese Parameter werden einzeln analysiert und zu Feuchteindices verrechnet und ausgewertet.

3.3. Zuordnung von Klimadaten aus dem Klimaatlas BW

Der Klimaatlas von Baden-Württemberg bildet sowohl Maximal-, Mittel- sowie Minimaltemperaturen für verschiedene Zeitintervalle ab (Jahres-, Halbjahres-, Quartals- oder Monatsintervalle), die aus den Jahren 1971 - 2000 gemittelt wurden (LUBW 2006). Zwei weitere Karten geben die Anzahlen der
Frost- und Eistage pro Jahr wieder. Frosttage sind als Tage definiert, die eine Tagesminimaltemperatur von unter 0 °C aufweisen. Eistage weisen eine Tagesmaximaltemperatur von unter 0 °C auf. Alle hier verwendeten Klimadaten ergeben sich aus den gemittelten Werten dieser 30 Jahre. Bei den Daten des Kartenmaterials handelt es sich um interpolierte Daten. Die maximale Auflösung der Karten beträgt 1 x 1 km (LUBW 2006). Durch Kombination dieser klimatischen Einzelparameter wurden folgende aggregierte Klimaindices berechnet:

Der **Feuchteindex** nach LINSSER (1869) stellte als erste diesbezügliche Formel die Niederschläge und die Temperatur in Beziehung:

$$\mathbf{H = p/t}$$

Der Feuchteindex H wird in dieser ersten Fassung von Linsser nach dem Verhältnis des monatlichen Niederschlags in mm zur monatlichen Mitteltemperatur in °C definiert (TUHKANEN 1980).
Die **thermische Kontinentalität** nach IWANOW (1959) wurde durch die vereinfachte Formel berechnet (HOGEWIND & BISSOLLI 2011):

$$\mathbf{K = 260 * \Delta T / \varphi}$$

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Der hauptsächliche wirksame Faktor ΔT entspricht der maximalen Amplitude zwischen 2 Monatsmitteltemperaturen, also im Fall von Baden-Württemberg zwischen der Mitteltemperatur des Januar und des Juli. φ ist ein Korrekturfaktor für die geographische Breite (METZING 2005).

3.3. Datenauswertung

Zur Analyse der Klimaunterschiede der Punkte innerhalb versus außerhalb der Arealgrenze der Stechpalme wurden die Daten jeweils zu arithmetischen Mittelwerten zusammengefasst und deren Standardabweichung ausgewiesen. Diese Mittelwerte werden in der folgenden Arbeit als „durchschnittliche" Lufttemperaturen oder Niederschläge bezeichnet. Sie werden durch einen legitimierten t-Test bei ähnlichen Varianzen oder einen Welch-Test bei ungleichen Varianzen auf signifikante Unterschiede analysiert.
Um bei signifikant unterschiedlichen Ergebnissen beispielsweise die bereits angeführte 0 °C- oder -1 °C-Mitteltemperaturisotherme im Januar als Grenze definieren zu können, darf nicht der errechnete Wert der durchschnittlichen Mitteltemperatur für diesen Monat gewählt werden. Diese durchschnittlichen Mittel- oder Minimaltemperaturen stellen nur das arithmetische Mittel dar. Die Standardabweichung gibt an, wie weit jeder einzelne Wert durchschnittlich von diesem arithmetischen Mittel abweicht, sowohl in positiver, wie auch in negativer Richtung.
Um Untergrenzen zu ermitteln, wurden daher die Standardabweichungen (beispielsweise der Mitteltemperaturen, der Minimaltemperaturen, etc.) von den arithmetischen Mitteln des *Ilex*-Gebietes abgezogen. So erhält man Werte, die minimal im Durchschnitt zu erwarten sind. Um Obergrenzen zu ermitteln, wurden die Standardabweichungen (beispielsweise bei der Meereshöhe, den Frost- und Eistagen pro Jahr) zu den arithmetischen Mitteln des *Ilex*-Gebietes hinzugerechnet. So erhält man die Werte, die maximal im Durchschnitt zu erwarten sind.

4. Ergebnisse

Die Niederschläge, die Feuchte- sowie die Kontinentalitätsindices ergaben keine signifikanten Unterschiede für die Probepunkte (Gebiete) mit und ohne Vorkommen an *Ilex aquifolium*. Signifikant unterschiedlich waren jedoch alle untersuchten Lufttemperaturen, die Höhe und Anzahl der Frost- und Eistage, sowie die Meereshöhen. Als besonders signifikant erwiesen sich die Unterschiede der Temperaturen des Winterhalbjahres.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

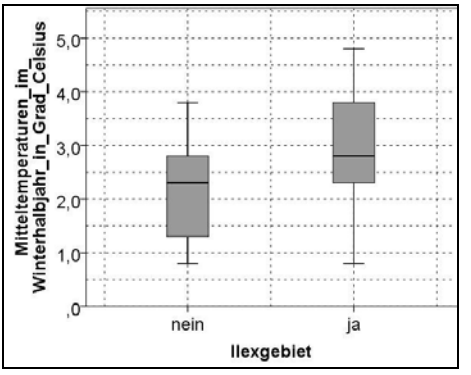

Abb. 3: Mittlere Lufttemperaturen im Winterhalbjahr außerhalb (links) und innerhalb (rechts) des *Ilex*-Areals

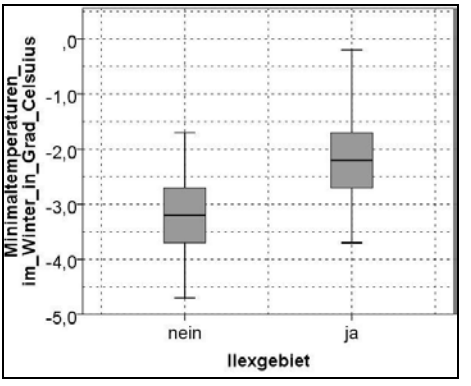

Abb. 4: Minimaltemperaturen der Luft im Winter außerhalb (links) und innerhalb (rechts) des *Ilex*-Areals.

Die mittleren Lufttemperaturen im Winterhalbjahr (Oktober - März) der Jahre 1971 bis 2000 liegen im *Ilex*-Areal bei 2,82 ^{o} ± 1,0 ^{o} C, außerhalb bei 2,06 ^{o} ± 0,82 ^{o} C (Abb. 3).
Die Minimaltemperaturen im Winter (Dez.-Feb.) betragen innerhalb des *Ilex*-Areals -2,20 ^{o} ± 0,79 ^{o} C, außerhalb -3,13 ^{o} ± 0,86 ^{o} C (Abb. 4). Die mittleren Lufttemperaturen im Januar liegen im *Ilex*-Areal bei 0,02 ^{o} ± 0,86 ^{o} C, außerhalb bei -0,75 ^{o} ± 0,74 ^{o} C (Abb. 5).

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Ebenfalls unterschiedlich ist die Anzahl der Forsttage mit 97 ± 18 innerhalb der *Ilex*-Areals sowie 112 ± 18 außerhalb (Abb. 6). Für all diese Parameter ist der Unterschied zwischen den beiden Gebieten höchst signifikant (Levene-Test 0,1%).

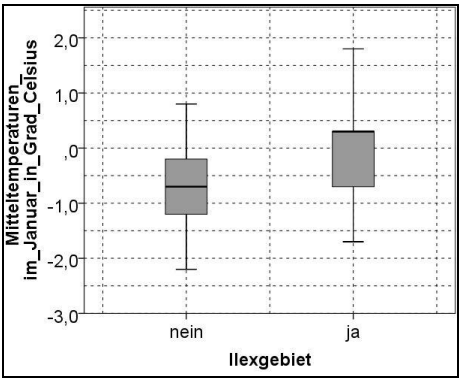

Abb. 5: Mittlere Lufttemperaturen im Januar außerhalb (links) und innerhalb (rechts) des *Ilex*-Areals

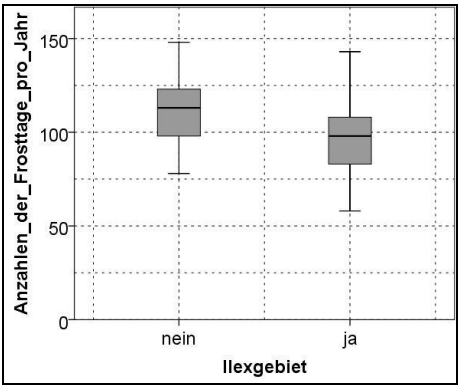

Abb. 6: Anzahlen der Frosttage im Jahr außerhalb (links) und innerhalb (rechts) des *Ilex*-Areals.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Eine Ursache der Änderung der regionalen Klimaveränderung ist die Meereshöhe (Abb. 7). Hier finden sich signifikante Unterschiede (Levene-Test, 5 %): Die *Ilex*-Vorkommen gedeihen in einer Meereshöhe von 634 ± 201 Metern, die Referenzpunkte im Ilex-freien Gebiet liegen auf 739 ± 210 Metern Meereshöhe.

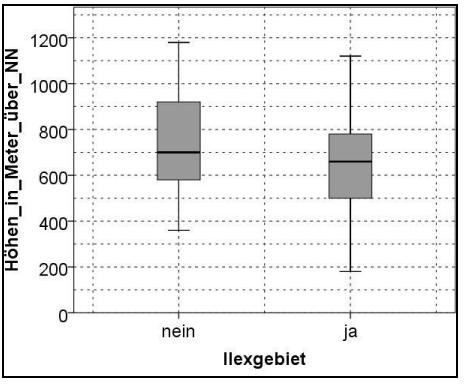

Abb. 7: Meereshöhen der Probeflächen außerhalb (links) und innerhalb (rechts) des *Ilex*-Areals.

4.1. Limitierende Klimaparameter und ihre Veränderung mit der Meereshöhe

Die Klimaeigenschaften werden durch die Meereshöhe beeinflusst. Es zeigte sich, dass die Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres, die Minimaltemperaturen des Winters, die Mitteltemperaturen des Januars sowie die Anzahl der Frosttage die Gebiete mit *Ilex aquifolium* und ohne *Ilex aquifolium* am signifikantesten unterscheiden. Für diese Klimaparameter wurde ihre Veränderung mit zunehmender Meereshöhe analysiert. Die Werte wurden daher über die Meereshöhe der Aufnahmepunkte abgetragen und mit einer Regression aller Datenpunkte versehen.

In Abb. 8 sind die Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres, in Abb. 9 sind die Minimaltemperaturen des Winters über die Höhen der Aufnahmepunkte differenziert nach den beiden Untersuchungsgebieten abgetragen. Zusätzlich ist eine lineare Regression der gesamten Daten mit der zugehörigen Funktion und dem Bestimmtheitsmaß R^2 aufgetragen.

Setzt man in die Regression der Abbildung 8 (Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres) die durchschnittliche Mitteltemperatur des Winterhalbjahres des *Ilex*-Gebietes, verringert um deren Standardabweichung (y = 1,82) ein, so erhält man nach einer Auflösung der Gleichung nach x die Höhe von ca. 829 Meter. Dieser Wert liegt sehr nahe an der maximal zu erwartenden

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Obergrenze der kartierten Vorkommen (berechnet aus dem Mittelwert des *Ilex*-Vorkommens mit 634 m zuzüglich der Standardabweichung von 201 m = 835 m; Abb. 7). Gemäß dieser Regression ist im Untersuchungsgebiet eine Verringerung der Mitteltemperatur im Winterhalbjahr von 0,42 °C pro 100 Meter Höhengewinn zu erwarten.

Die Verschneidung der Minimaltemperaturen des Winters und den Meereshöhen lässt die Unterschiede zwischen Probefläche mit *Ilex* und *Ilex*-freien Probeflächen ebenfalls differenziert erkennen (Abb. 9). Zur Berechnung der meereshöhenbezogenen Minimaltemperaturen des Winters ist für y der Wert -2,99 °C einzusetzen. Dies ist die durchschnittliche Minimaltemperatur im Winter des *Ilex*-Gebietes (-2,20 °C), verringert um die Standardabweichung von 0,76 °C. Die Auflösung nach x ergibt eine Meereshöhe von ca. 775 Meter. Dieser Wert liegt etwa 60 Meter unter der maximalen durchschnittlichen Höhe des *Ilex*-Gebiets (835 Meter). Gemäß dieser Regression ist im Untersuchungsgebiet eine (relativ geringe) Verringerung der Minimaltemperatur im Winter von 0,37 °C pro 100 Meter Höhengewinn zu erwarten.

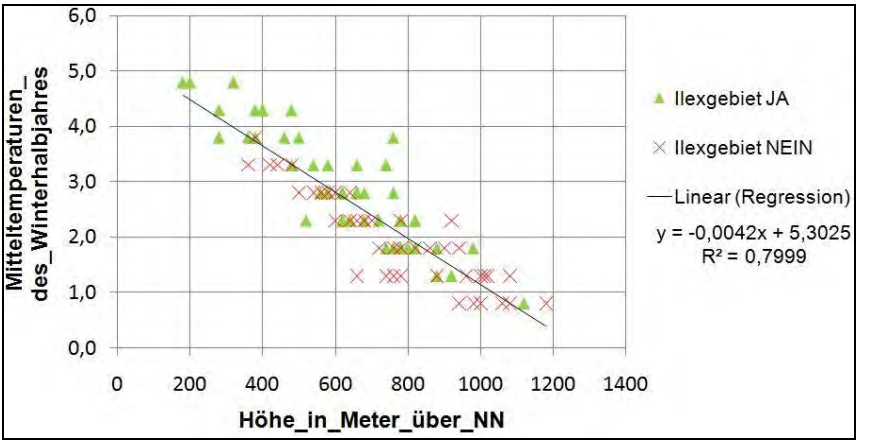

Abb. 8: Verteilung der Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres über die Meereshöhen

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

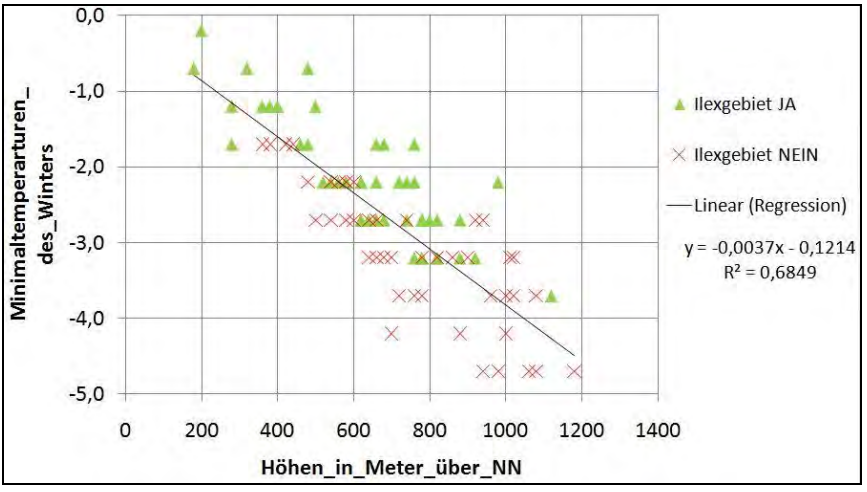

Abb. 9: Verteilung der Minimaltemperaturen des Winters über die Meereshöhen

Zur Berechnung der meereshöhenbezogenen Mitteltemperatur des Januars des *Ilex*-Gebietes wird der y-Wert -0,84 ^{o} C eingesetzt (Abb. 10). Dies ist die durchschnittliche Mitteltemperatur im Januar des *Ilex*-Gebietes (0,02 ^{o}C),

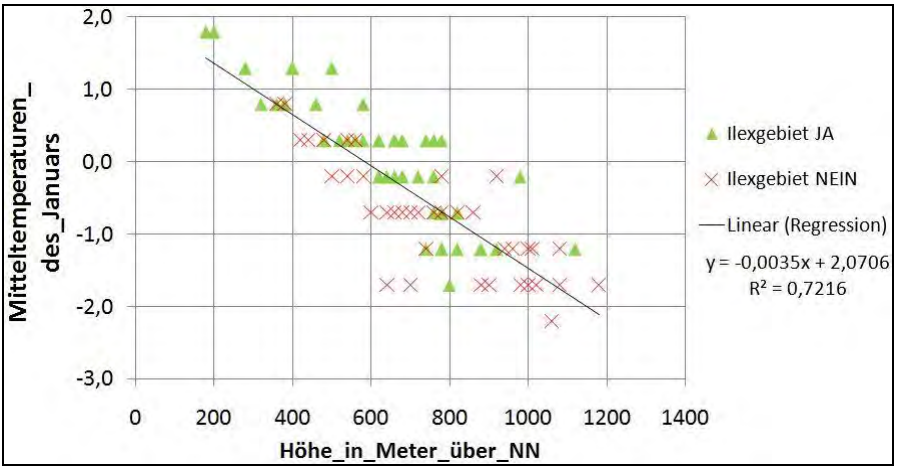

Abb. 10: Verteilung der Mitteltemperaturen des Januars über die Meereshöhen

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

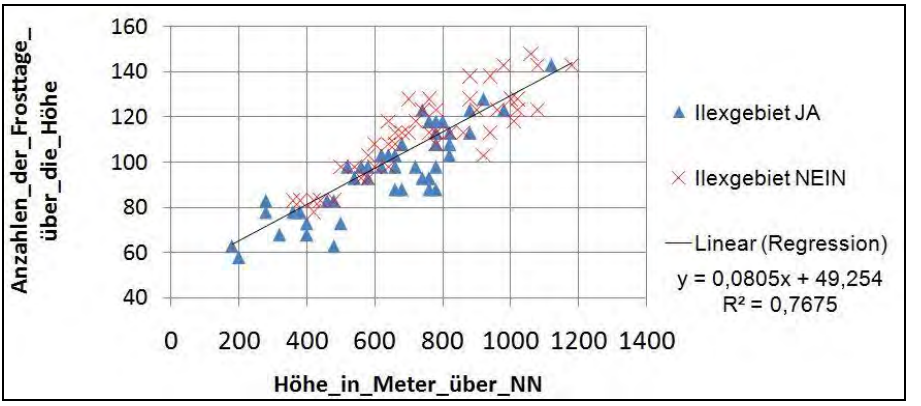

Abb. 11: Verteilung der Anzahlen der Frosttage pro Jahr über die Meereshöhe

verringert um die Standardabweichung von 0,86 °C. Die Auflösung nach x ergibt eine Höhe von ca. 832 Meter. Der Wert entspricht mit einer Abweichung von ebenfalls nur wenigen Metern der durchschnittlichen Meereshöhe zuzüglich der Standardabweichung für das
Ilex-Gebiet. Gemäß der Regression ist im Untersuchungsgebiet eine Verringerung der Mitteltemperatur im Januar von 0,35 °C pro 100 Meter Höhengewinn zu erwarten.
Analog zu den signifikant unterschiedlichen Mittel- und Minimatemperaturen wurden die Verteilungen der Anzahlen der Frosttage pro Jahr über die Höhen des gesamten Aufnahmegebietes abgebildet (Abb. 11). Für das *Ilex*-Gebiet wurde die durchschnittliche Anzahl von 96,96 Frosttagen pro Jahr ermittelt, mit einer entsprechenden Standardabweichung von 18,25 Tagen. Addiert ergibt sich somit der Wert y = 115,21 Tage. Nach Auflösung der Regressionsfunktion nach x ergibt sich eine modellierte Obergrenze der Stechpalme von ca. 819 Meter über NN. Dieses Ergebnis weicht wiederum nur geringfügig von der durchschnittlichen Höhe des *Ilex*-Gebietes, vergrößert um deren Standardabweichung ab. Durch die Regression lässt sich weiterhin festhalten, dass pro 100 Meter Höhengewinn die Anzahl der Frosttage pro Jahr um 8,05 Tage zunimmt.

4.2. Schwellenwerte der Arealgrenze

In den Abbildungen 8 bis 11 ist zu erkennen, wie sich die verschiedenen Temperaturen und die Anzahlen der Frosttage pro Jahr über die Höhen verteilen. Auffällig ist, dass die eingelegte Regressionsgerade der gesamten

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Daten die Gebiete mit *Ilex aquifolium* von den Gebieten ohne *Ilex aquifolium* teils besser und teils schlechter bis zur durchschnittlich maximalen Höhe von 835 Meter trennt. Daher besitzen die berechneten Funktionen Gültigkeit in den Grenzen von 200 m < x < 835 m.

Abb. 12 zeigt die konstruierte Verbreitungsgrenze von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald für die Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres, Abb. 13 für die Minimaltemperaturen des Winters. Für das Winterhalbjahr folgen die Schwellenwerte der östlichen Verbreitung von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald der Funktion y= - 0,0042x + 5,3025. Die *Ilex*-Vorkommen liegen in den meisten Fällen über den damit modellierten Mitteltemperaturen im Winterhalbjahr (Abb. 12).

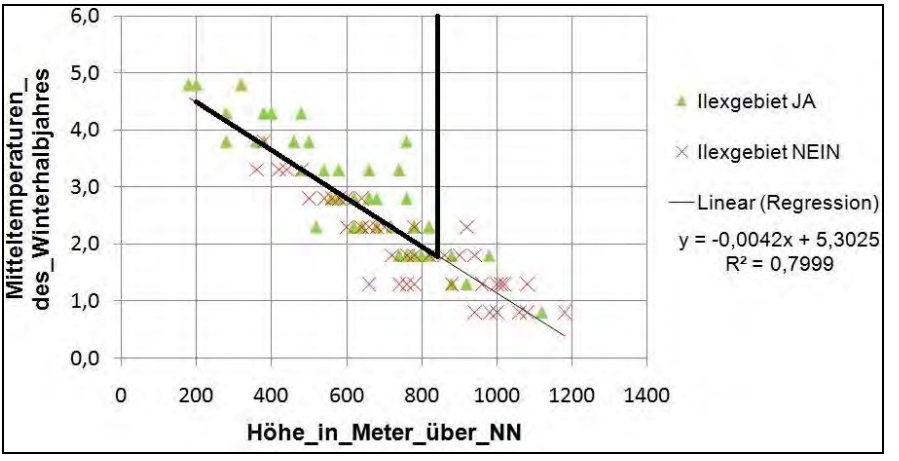

Abb. 12: Modellierte Höhengrenze der Stechpalme in Abhängigkeit von der Meereshöhe und den Mitteltemperaturen im Winterhalbjahr

Die Berechnung der Verbreitungsgrenze anhand der Minimaltemperaturen im Winter ergibt die Funktion y= - 0,0037x – 0,1214, da die meisten Vorkommen der Stechpalme oberhalb dieser Grenze anzutreffen sind (Abb. 13).
Abb. 14 zeigt die modellierte Verbreitungsgrenze von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald für die Mitteltemperaturen des Januars. Die Verbreitung der Stechpalme im Schwarzwald liegt in den meisten Fällen über den Mitteltemperaturen des Januars, sie folgen der Funktion y= - 0,0035x + 2,0706.
Abb. 15 zeigt die modellierte Verbreitungsobergrenze von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald für die Anzahl der Frosttage. Die entsprechende Funktion lautet y= 0,0805x + 49,254.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

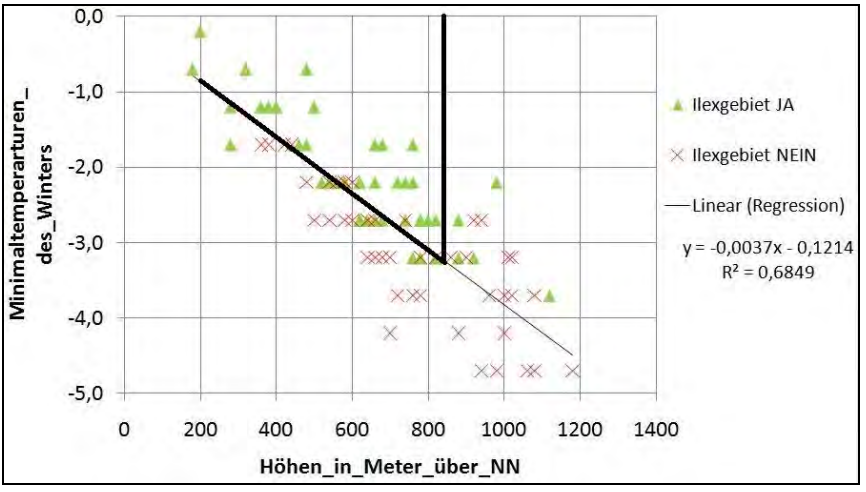

Abb. 13: Modellierte Höhengrenze der Stechpalme in Abhängigkeit von den Minimaltemperaturen im Winter und den Meereshöhen

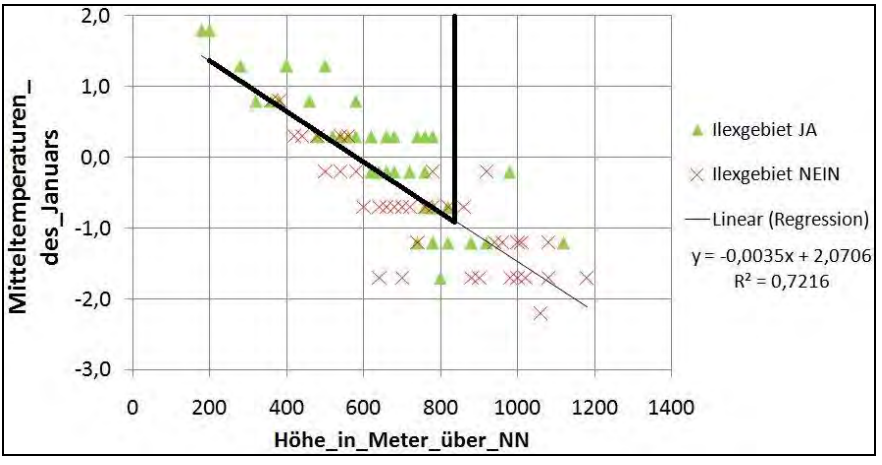

Abb. 14: Modellierte Höhengrenze der Stechpalme in Abhängigkeit von den Mitteltemperaturen im Januar und den Meereshöhen

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

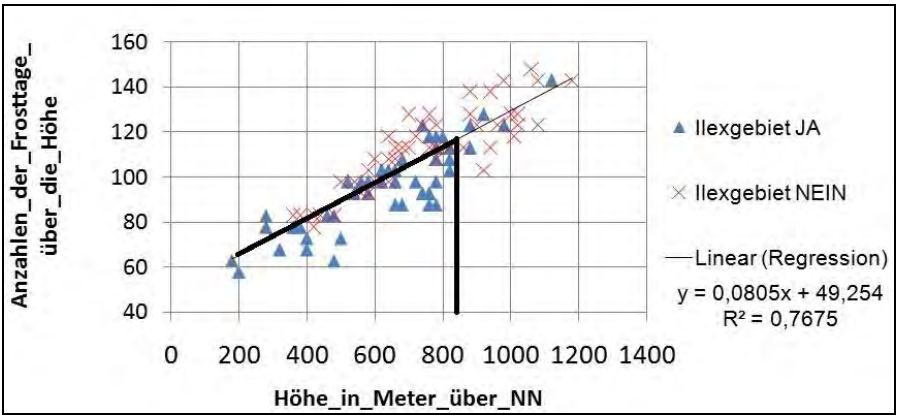

Abb. 15: Modellierte Höhengrenze der Stechpalme in Abhängigkeit von den Anzahlen der Frosttage pro Jahr und der Meereshöhe

5. Diskussion

Das Areal der Stechpalme reicht im Westschwarzwald bis in eine Meereshöhe von 835 m NN, dort befindet sich ihre aus der Verteilung der Fundpunkte abgeleitete statistisch signifikante regionale Ostgrenze. Als ursächlich hierfür anzunehmen sind Klimaparameter, die das *Ilex*-Areal von den "*Ilex*-freien" Gebieten unterscheiden.

Aus der Anzahl der analysierten Klimaparameter konnten vier Parameter die Arealgrenze am besten erklären. Dies waren die Mitteltemperaturen des Winterhalbjahres, die Minimaltemperaturen des Winters, die Mitteltemperaturen des Januars sowie die Anzahl der Frosttage. Die Mittel- und Minimaltemperaturen des Gebietes mit *Ilex aquifolium* lagen dabei immer signifikant über den Mittel- und Minimaltemperaturen des Gebietes ohne die Stechpalme. Die Anzahlen an Frost- und Eistagen pro Jahr waren außerhalb des *Ilex*-Areals signifikant höher.

Diese vier thermischen Klimafaktoren konnten für einen Geltungsbereich zwischen 200 und 835 m Meereshöhe durch die Kombination von Meereshöhen und Temperaturwerten bzw. Anzahlen der Frosttage durch lineare Regressionen die östliche Arealgrenze am genauesten abbilden (Tab. 1). Die vier Grenzfunktionen beschreiben die makroklimatischen Minimal- oder Maximalbedingungen für den überwiegenden Teil der Population.

Kombiniert mit den Mittelwerten und den Standardabweichungen dieser vier Klimaparameter konnten ebenfalls Obergrenzen der Stechpalme konstruiert werden. Diese lagen zwischen 819 und 832 m NN und bestätigen hierdurch

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

die durch die Meereshöhenverteilung der Vorkommen ermittelte Obergrenze.
Lediglich die Minimaltemperaturen im Winter führen zu einem abweichenden Ergebnis. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die Auswirkung der winterlichen Temperaturinversion, welche bei den tiefer gelegenen Probepunkten der Triplets innerhalb des *Ilex*-Vorkommens tendenziell zu einer extremeren Winterkälte und somit zu einer Verzerrung der Lage der Obergrenze führt.

Tab.1: Zusammenfassung der Klimaparameter und der resultierenden Regressionsgleichungen zur Quantifizierung der östlichen Verbreitungsgrenze von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald. Aus den Mittelwerten und Standardabweichungen konnten Obergrenzen des *Ilex*-Vorkommens konstruiert werden.

Limitierender Parameter (y)	Funktion der Parameter über die Meereshöhe zur Beschreibung der Arealgrenze	Obergrenzen der *Ilex*-Vorkommen aus den Parameterverteilungen der Funktionen
Mitteltemperatur Winterhalbjahr	y= - 0,0042x + 5,3025	829 m
Minimaltemperatur Winter	y= - 0,0037x – 0,1214	775 m
Mitteltemperatur Januar	y= - 0,0035x+2,0706	832 m
Anzahl der Frosttage	y= 0,0805x + 49,254	819 m

Die auf diese Weise quantifizierte regionale Arealgrenze der Stechpalme mit einer Obergrenze bei 835 m NN wird durch lokale Wirkungen der Geländeeigenschaften und der Vegetation, die zu kleinörtlichen Unterschieden führen, modifiziert (BENDIX 2004). So wurde beispielsweise 1989 ein einzelnes Exemplar von *Ilex aquifolium* auf dem Belchengipfel in ca. 1290 Metern über NN gefunden. Hierbei handelt es sich um „Ausreißer“, die nicht für die Analyse der Arealgrenze berücksichtigt wurden.
Die östliche Verbreitungsgrenze von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald kann somit durch Temperaturwerte erklärt werden, nicht jedoch durch Niederschlagswerte oder Feuchteindices. Eine ozeanische Klimatönung des *Ilex*-Grenzbereichs (vgl. ELLENBERG & LEUCHNER 1996) kann zwar insgesamt

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

berechnet werden, sie ist jedoch regional nicht der differenzierende Parameter zwischen den Gebieten mit und ohne *Ilex aquifolium*.

Danksagung
Wir bedanken uns herzlich bei Thomas Breunig (Karlsruhe) für die Überlassung der Fundpunkte der Vorkommen von *Ilex aquifolium* im Schwarzwald sowie bei Bernhard Thiel für seine Hilfe bei der Übersetzung der Zusammenfassung ins Englische.

Literatur

BENDIX, J. (2004): Geländeklimatologie. 1. Aufl., 282 S., Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin-Stuttgart.

BERGER, S. (2007): Die Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzen in unter schiedlichen Lebensräumen. Abh. D. Braunschweigischen Wissenschaftl. Ges. 59: 37-52.

BFN (2005): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bundesartenschutzverordnung, §1 Satz 1 Anlage1 vom 16.02.2005.

CALLAUCH, R. (1983): Untersuchungen zu Biologie und Vergesellschaftung der Stechpalme (*Ilex aquifolium*). Dissertationsschrift der Gesamthochschule Kassel.

DEMUTH, S. (1992): Aquifoliaceae. - S. 81-84 in: SEBALD, O., SEYBOLD, S., PHILIP PI, G.: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs Band 4. Ulmer-Verlag, Stuttgart.

DÖRKEN, V. (2013): Winterhärte und Frostresistenz von Pflanzen. Jahrbuch des Bochumer Botanischen Vereins für das Jahr 2012 - Band 4: 308-319.

ELLENBERG, H., Leuschner, C. 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., 1095 S., Ulmer-Verlag, Stuttgart.

ENGLER, A. (1964): Syllabus der Pflanzenfamilien. II Band Angiospermen. 12. Aufl., 666 S., Gebrüder Borntraeger, Berlin.

HOGEWIND, F., BISSOLLI, P. (2011): Operational maps of monthly mean temperature for WMO Region VI (Europe and Middle East). - Quarterly Journal of the Hungarian Meterological Service 115: 31-49.

HOUGHTON, J., DING, Y., GRIGGS, D., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P., DAI, X., MASKELL, K., JOHNSON, C. (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press 2001: 811ff.

IVERSEN, J. (1944): Viscum, Hedera and Ilex as climatic indicators. Geol. For. Stockh. Forh. 66: 463-83.

KORN, H. & SCHLIEP, R., STADLER, J. (2009): Biodiversität und Klima. Vernetzung der Akteure in Deutschland IV. Ergebnisse und Dokumentation des 4.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Workshops an der Internationalen Naturschutzakademie des Bundesamtes für Naturschutz, Insel Vilm, 14.-17.10.2007. BfN-Skripten 246: 33-34.

KÖLLING C., WALTHER G. (2007): Die Zukunft hat schon begonnen, unterwegs zu Wäldern im Klimawandel. LWF aktuell 60: 5-10.

LOHNINGER, H. (2013): Grundlagen der Statistik – Internetausgabe. http://www.statistics4u.info/fundstat_germ/index.html, Zugriff am 21.03.2013.

LUBW (2006): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Klimaatlas Baden-Württemberg. CD.

MANISCALCO M, RAIMONDO FM (2003): Ecology and optimal and heterotopical distribution of *Ilex aquifolium* (Aquifoliaceae) in Sicily. Bocconea 16: 905-917.

METZING, D. (2005): Küstenflora und Klimawandel - der Einfluss der globalen Erwärmung auf die Gefäßpflanzenflora des deutschen Küstengebietes von Nord- und Ostsee. Dissertation, 455 S., Fakultät Mathematik und Naturwis senschaften, Univ. Oldenburg.

PETERKEN, G.F., LLOYD, P. S. (1967): Biological Flora of the British Isles: *Ilex aqui folium* L. J. Ecol. 55: 841-858.

SAKAI, A. (1982): Freezing Resistance of Ornamental Trees and Shrubs. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 572-581.

TUHKANEN, S. (1980): Climatic Parameters and Indices in Plant Geography. 1. ed., 109 S., Almqvist & Wiksell International, Stockholm.

WALTHER G-R, BERGER S, SYKES MT (2005): An ecological 'footprint' of climate change. Proc. R. Soc. B 272: 1427–1432.

WALTHER, G.-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.-M., HOEGH-GULDBERG, O., BAIRLEIN, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. Nature 416 (6879): 389–395.

WALTHER, G. (2008): Klimatisch bedingte Veränderungen der Flora in Mitteleuropa und daraus resultierende Aufgaben für den Arten- und Naturschutz. Osnabrücker Naturwiss. Mitt. 33/34: 125–132.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: NF_21_3

Autor(en)/Author(s): Wagner Johannes, Gärtner Stefanie, Reif Albert

Artikel/Article: Klimatische Ursachen der östlichen Verbreitungsgrenze der Stechpalme (Ilex aquifolium L.) im Schwarzwald 453-471