

2. Methoden

Zugversuch mit TreeQinetic¹, Windlastabschätzung mit der Software *Arbostat*².

2.1 experimenteller Messzusammenhang

Bei einem Zugversuch wird der Baum mittels eines Seiles und eines Greifzuges auf Biegung belastet. Messgeräte erfassen die eingeleitete Zuglast sowie die damit einhergehende Neigung der Wurzeltellerplatte. Ebenso werden die Dehnung oder Stauchung (Verformung) an ausgewählten Punkten des Stammes simultan erfasst.

In einem ersten Schritt der Analyse wird theoretisch ermittelt, welche Last zu einem Versagen des Baumes durch Brechen oder Kippen führen würde. Zurückgegriffen wird auf bekannte Materialkennwerte grüner Hölzer (vgl. Stuttgarter Festigkeitskatalog). Diese Werte geben an, ab welcher Verformung gesundes Holz der jeweiligen Baumart dauerhaft geschädigt wird. Ebenso liegen Erfahrungswerte vor, ab welcher Neigung Bäume im Allgemeinen umkippen (verallgemeinerte Kippkurve³).

Die an den Bäumen im zerstörungsfreien Bereich gemessenen Werte werden durch Extrapolation (rechnerische Fortschreibung) der gemessenen Zusammenhänge von Last und Verformung bzw. von Last und Neigung bis zu den theoretisch ermittelten Grenzwerten hochgerechnet. Das Ergebnis der Extrapolation bildet die spezifische Versagenslast für das untersuchte Gewebe des jeweiligen Baumes ab.

2.2 Windlastabschätzung

Mit der Methode wird die Last abgeschätzt, die während eines Orkans auf den Baum an seinem Standort einwirken würde. Diese gesondert vorzunehmende Abschätzung liefert den Maßstab zur Beurteilung der extrapolierten Messwerte, aus welchen die Versagenslast ermittelt wird. Die durch die jeweiligen Messergebnisse ermittelte Versagenslast lässt sich damit erst als Sicherheitswert in der Einheit der maximal zu erwartenden Orkanlast angeben. Ein Baum ist dann als verkehrssicher zu beurteilen, wenn er mindestens eine 1,5-fache Sicherheit während eines Orkans aufweisen kann.

Um die Orkanlast zu ermitteln, finden die Ausmaße des Baumes (Stammdurchmesser, Höhe, Breite) Berücksichtigung. Aus diesen Angaben der äußeren Form werden schwingungsdynamische Eigenschaften wie die Eigenresonanzfrequenz und das Dämpfungsdekrement modellhaft errechnet. Es wird für jede Baumart auf einen cw-Wert

¹ *Tree Qinetic*, Argus electronic GmbH, Erich-Schlesinger-Straße 49 d, 18059 Rostock, www.argus-electronic.de

² *Arbostat*, *arbosafe GmbH*, Berengariastr. 9, 82131 Gauting, www.arbosafe.com

³ WESSOLLY, L.; ERB, M.; 2014: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle, Patzer Verlag, Berlin.

zurückgegriffen, mit dem der Windwiderstand der belaubten Baumkrone modellhaft beziffert werden kann.

Die maximale Windeinwirkung am Standort des Baumes wird auf unterschiedlicher Größenskala mittels der Wahl von verschiedenen vorgegebenen Kategorien und Parameter erfasst: Als Rechengrundlage dafür fungiert eine im Bauwesen verwendete Norm⁴. Neben der großräumigen Windzone des Landesteiles wird auf mittlerer Größenskala der Baumstandort eingeordnet. Dazu dienen drei verschiedene Geländeszenarien: Die freie Landschaft, die Vorstadt und die Stadt. Die Kategorien verrechnen die unterschiedliche Rauheit des Geländes und damit auch ein unterschiedliches Verhältnis von Grundwindgeschwindigkeit (10 Min. Mittel) zur Böenwindgeschwindigkeit (5 Sek. Mittel). Je rauer das Gelände ist, desto größer werden die Turbulenzen, die Grundwindgeschwindigkeit nimmt hingegen ab. Die Gesamtbelastung nimmt dann aber von freier Landschaft über Vorstadt zur Stadt hin ab.

Mit dem linearen Expositionsfaktor wird die Abdeckung im unmittelbaren Umfeld durch andere Bäume oder Gebäude berücksichtigt. Weiterhin lassen sich mit einem quadratischen Faktor für bodennahe Strömungen Düseneffekte berücksichtigen, wie sie bspw. in Häuserschluchten sowie auf Bergkuppen anzutreffen wären.

2.3. Grundsicherheitsabschätzung

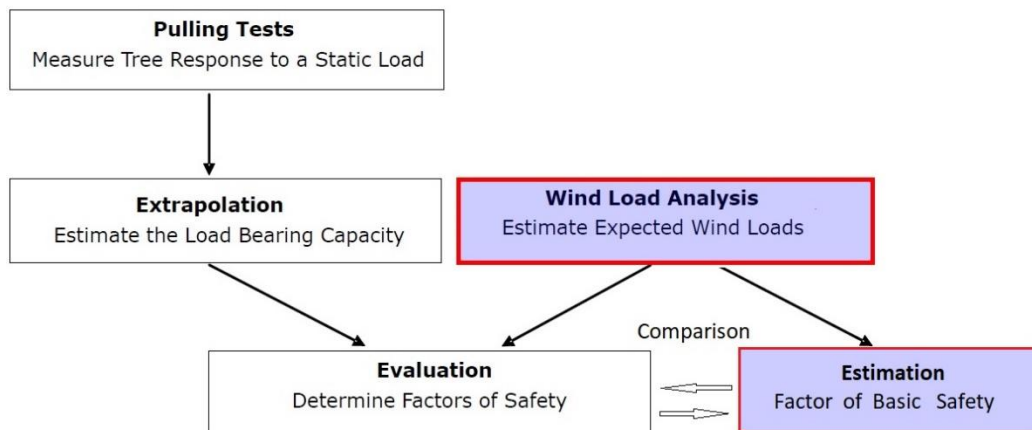
Aus den Materialkennwerten der jeweiligen Holzart und der Dimension des Stammes in 1 m Höhe wird ein sogenannter Grundsicherheitswert prognostiziert. Dabei wird der Stamm jedoch auf einen Kreis, bzw. regelmäßig geformtes Oval reduziert. Konkret wird damit die Versagenslast für den derart modellhaft gedachten, intakten Stamm in der Einheit der abgeschätzten Orkanlast angegeben. Dieser Sicherheitswert gibt an, um wieviel die abgeschätzte maximale Orkanlast multipliziert werden müsste, um den intakten Baum zum Versagen zu bringen.

Dieser Grundsicherheitswert wird zur groben Orientierung auf alle anderen Bereiche des Baumes übertragen. Es handelt sich dabei um eine umstrittene Heuristik, die in dem Ergebnis einer lebendigen Gestaltbildung durch Bäume eine statisch optimierte Idealgestalt erkennen will. Unter dieser Voraussetzung kann das Teil das Ganze repräsentieren; der Baum wird als Kette gleich fester Glieder betrachtet. Diese pragmatische Modellannahme ließe sich mit einer zweckmäßigen Organisation von Lebewesen über die Begrifflichkeit der Biologie rechtfertigen.

Mit dem Grundsicherheitswert lassen sich die experimentell ermittelten Stand- und Bruchsicherheitswerte vergleichen. Derart sind nicht nur absolute Sicherheitswerte aus den Messzusammenhängen darstellbar, sondern es kann damit ebenfalls der relative Abbau der statischen -ursprünglich vorhandenen- Substanz des intakten Baumes abgeschätzt werden.

⁴ Windlastnorm DIN 1055-4

Procedure of Test and Evaluation



Methodische Einordnung des Teilschrittes Windlastanalyse: Grafik: Dipl. Ing. ANDREAS DETTER; Brudi und Partner, SAG Baumstatik e.V.: 4th Arbostat User Forum, Gauting 08.07.2019; verändert durch Verfasser.



Länglich stehende Messgeräte: Dehnungsmesser (Elastometer) für die Bestimmung der Bruchsicherheit. Im unteren Stammbereich waagrecht angebrachte Neigungsmessgeräte (Inclinometer) für die Bestimmung der Standsicherheit.



Versuchsbaum mit Zugseil und Kraftmessdose.

Windlastanalyse analog DIN 1055-4

Baum Nr.	11																																																											
Projekt	Standort																																																											
Projektname	2020-04-20-Stieleich	Ohlenkamp 15 a																																																										
Projektnummer	2020-04-20	22607 Hamburg																																																										
Datum Untersuchung	20.04.2020	Höhe über NN 50 m																																																										
Baumdaten	angesetzte Materialrichtwerte																																																											
Baumart	Stieleiche	nach Quelle	Quercus robur Stuttgart																																																									
Stammumfang	150 cm	Druckfestigkeit	28 MPa																																																									
Stammdurchmesser in 1m Höhe	47 cm	E-Modul	6900 MPa																																																									
Rindendicke	47 cm	Grenzdehnung	0,41 %																																																									
Baumhöhe	2 cm	Rohdichte	1,03 g/cm ³																																																									
Baumsilhouette	<table border="1"> <tr> <td>16</td> <td>Lastrichtung</td> <td>West</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>Flächenanalyse</td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>Kronenansatz</td> <td>7,4 m</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>effektive Höhe nach DIN</td> <td>13,6 m</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Gesamtfläche</td> <td>86 m²</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>Exzentrizität der Krone</td> <td>0,22 m</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>angenommene Strukturparameter</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Windwiderstandsbeiwert</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Eigenfrequenz</td> <td>0,32 Hz</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Dämpfungsdelement</td> <td>1,32</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Formfaktor Eigengewicht</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>angesetzte Standortrichtwerte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Windzone</td> <td>D 2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Geschwindigkeit des Bemessungswindes</td> <td>26 m/s</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Luftdichte</td> <td>1,28 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Geländekategorie</td> <td>Vorstadt</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Exponent Windprofil</td> <td>0,22</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Nachbarschaftsfaktor für bodennahe Strömung</td> <td>1,05</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Expositionsfaktor Krone</td> <td>0,60</td> </tr> </table>			16	Lastrichtung	West	17	Flächenanalyse		18	Kronenansatz	7,4 m	19	effektive Höhe nach DIN	13,6 m	14	Gesamtfläche	86 m ²	15	Exzentrizität der Krone	0,22 m	12	angenommene Strukturparameter		10	Windwiderstandsbeiwert	0,25	9	Eigenfrequenz	0,32 Hz	8	Dämpfungsdelement	1,32	7	Formfaktor Eigengewicht	0,8	4	angesetzte Standortrichtwerte		5	Windzone	D 2	6	Geschwindigkeit des Bemessungswindes	26 m/s	2	Luftdichte	1,28 kg/m ³	1	Geländekategorie	Vorstadt	3	Exponent Windprofil	0,22		Nachbarschaftsfaktor für bodennahe Strömung	1,05		Expositionsfaktor Krone	0,60
16	Lastrichtung	West																																																										
17	Flächenanalyse																																																											
18	Kronenansatz	7,4 m																																																										
19	effektive Höhe nach DIN	13,6 m																																																										
14	Gesamtfläche	86 m ²																																																										
15	Exzentrizität der Krone	0,22 m																																																										
12	angenommene Strukturparameter																																																											
10	Windwiderstandsbeiwert	0,25																																																										
9	Eigenfrequenz	0,32 Hz																																																										
8	Dämpfungsdelement	1,32																																																										
7	Formfaktor Eigengewicht	0,8																																																										
4	angesetzte Standortrichtwerte																																																											
5	Windzone	D 2																																																										
6	Geschwindigkeit des Bemessungswindes	26 m/s																																																										
2	Luftdichte	1,28 kg/m ³																																																										
1	Geländekategorie	Vorstadt																																																										
3	Exponent Windprofil	0,22																																																										
	Nachbarschaftsfaktor für bodennahe Strömung	1,05																																																										
	Expositionsfaktor Krone	0,60																																																										
Ergebnis	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Windlastanalyse</td> <td colspan="2">Baumstatische Analyse</td> </tr> <tr> <td>mittlerer Winddruck</td> <td>5,4 kN</td> <td>Eigengewicht Baum</td> <td>2,1 t</td> </tr> <tr> <td>Böenreaktionsfaktor</td> <td>2,04</td> <td>kritischer Hohlungsgrad</td> <td>55 %</td> </tr> <tr> <td>Lastschwerpunkt</td> <td>12 m</td> <td>kritische Restwandstärke bezogen auf eine geschlossene Schale</td> <td>10 cm</td> </tr> <tr> <td>Torsionsmoment</td> <td>3 kNm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bemessungswindmoment</td> <td>171 kNm</td> <td>Grundsicherheitsfaktor</td> <td>1,2</td> </tr> </table>			Windlastanalyse		Baumstatische Analyse		mittlerer Winddruck	5,4 kN	Eigengewicht Baum	2,1 t	Böenreaktionsfaktor	2,04	kritischer Hohlungsgrad	55 %	Lastschwerpunkt	12 m	kritische Restwandstärke bezogen auf eine geschlossene Schale	10 cm	Torsionsmoment	3 kNm			Bemessungswindmoment	171 kNm	Grundsicherheitsfaktor	1,2																																	
Windlastanalyse		Baumstatische Analyse																																																										
mittlerer Winddruck	5,4 kN	Eigengewicht Baum	2,1 t																																																									
Böenreaktionsfaktor	2,04	kritischer Hohlungsgrad	55 %																																																									
Lastschwerpunkt	12 m	kritische Restwandstärke bezogen auf eine geschlossene Schale	10 cm																																																									
Torsionsmoment	3 kNm																																																											
Bemessungswindmoment	171 kNm	Grundsicherheitsfaktor	1,2																																																									
Allgemeines	Anmerkungen																																																											

Rechnerische Standsicherheit gemäß Zugversuch

Baumdaten	Projekt 2020-04-20-Stieleich-Ohlenkamp-SBH	Baum Nr. 11	
Baumart	Stieleiche	Datum 20.04.2020	
Messaufbau	Höhe des Ankerpunktes 8,05 m	Messung Nr. 1	
Seilwinkel	19,2 °	Lastrichtung West	
Grafische Darstellung (Messergebnis und Kippkurve)			
Inclinometermessung	80	81	82
Messposition	Seite-N	Seite-S	vorne
Standsicherheit (ermittelt aus der Kippkurve)	Sicherheitsfaktor mind. 1,4 1,47 1,46		
Kontrollwerte	in		
Standardabweichung	% 3,28	3,57	3,94
Ersatzlast	% 46,7	46,7	46,7
Lastrichtung am Inclinometer	x-Achse	x-Achse	y-Achse
Allgemeines zum Zugversuch	Sachverständiger Lutz Hoffmann, B.Sc. Arboristik		
Zeugen / Helfer			
Anmerkungen Messung			

Messprotokolle: Links die Windlastabschätzung. Rechts: Messergebnisse für die Standsicherheit, der grüne Farbbereich gibt den 1-5-fachen Sicherheitsbereich an, der rote Bereich liegt unterhalb der einfachen Sicherheit.