
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Science

Bachelorarbeit

Gefahrenabwehr/Hazard Control

**Entwurf einer Prognosemethode zur Ermittlung
der Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden
auf öffentlichen (Groß-) Veranstaltungen anhand eines
Bayesian Belief Networks**

Vorgelegt von

Johanna Suse Gardemann

Mat.-Nr.: [REDACTED]

Hamburg

der 28. Februar 2025

Gutachter: Prof. Dr. Karsten Loer HAW Hamburg

Gutachterin: B. A. Stephanie Albrecht EventMind UG (haftungsbeschränkt)

Die Abschlussarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Firma
EventMind UG (haftungsbeschränkt) erstellt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben, sei es fachlich, moralisch oder organisatorisch. Ohne ihre Bemühungen wäre mir meine Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Mein Dank gilt meinem ersten Betreuer Prof. Dr. Karsten Loer, dessen fachliche Expertise in der Statistik und dem Veranstaltungswesen mir geholfen haben, meine Arbeit auf eine fundierte wissenschaftliche Basis zu stellen und meinen Blick für die wesentlichen Aspekte meines Themas zu schärfen. Seine Anregungen haben mir geholfen, meine eigenen Überlegungen kritisch zu reflektieren und neue Erkenntnisse zu gewinnen, die meine Arbeit dann bereichert haben.

Ebenso danke ich meiner Zweitbetreuerin Stephanie Albrecht, die neben ihrem Wissen über das Veranstaltungswesen eine zusätzliche fachübergreifende Perspektive eingebracht hat, welche mich dazu inspiriert hat, in bestimmte Themen weiter einzutauchen und Aspekte auszu-leuchten, die sonst womöglich unerwähnt geblieben wären. Gleichzeitig war sie mir stets eine moralische Stütze, aus der ich viel Motivation schöpfen konnte.

Ein großes Dankeschön geht auch an meinen Chef Dominic Blechert von EventMind, der mich während der gesamten Zeit mit außergewöhnlicher Flexibilität in der Arbeitszeitgestaltung unterstützt hat. Durch sein Entgegenkommen konnte ich mich intensiver auf meine Bachelorarbeit konzentrieren, ohne dabei berufliche Verpflichtungen aus den Augen zu verlieren. Darüber hinaus konnte ich von seiner fachlichen Expertise in der Veranstaltungssicherheit profitieren und diese in die Bachelorarbeit einfließen lassen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken, die mir mit ihren Meinungen wertvolle Ratschläge zum fachlichen Teil meiner Arbeit gegeben und in stressigen Zeiten für moralischen Rückhalt gesorgt haben.

Mein tiefster Dank richtet sich an meine Eltern, die mich nicht nur im Laufe meiner Bachelorarbeitszeit, sondern schon meine gesamte Existenz lang liebevoll unterstützt haben. Während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit haben sie mich zusätzlich organisatorisch unterstützt, wodurch es mir ermöglicht wurde, mich vollkommen auf meine Bachelorarbeit zu konzentrieren.

Zuletzt möchte ich mich auch bei mir selbst für meinen Mut bedanken, der dazu beigetragen hat, die Schritte in meinem Leben zu gehen, zu denen ich mich entschlossen habe. Diese Arbeit ist für mich nicht nur ein akademischer Abschluss, sondern auch ein weiterer Schritt, bei dem mich meine Zielstrebigkeit und mein Vertrauen in mich selbst begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

I	Abbildungsverzeichnis	I
II	Tabellenverzeichnis	III
III	Abkürzungsverzeichnis	IV
1	Einleitung	1
1.1	Vorstellung des Themas.....	1
1.2	Aufbau und Herangehensweise	2
2	Wissensbausteine	5
2.1	Wissensbausteine zu Veranstaltungen.....	5
2.1.1	Öffentliche Veranstaltungen.....	5
2.1.2	Genehmigungspflichtige Veranstaltungen.....	5
2.1.3	Maximal zeitgleich anwesende Besuchende und zulässige Personenkapazität.....	7
2.2	Wissensbausteine zur Statistik.....	9
2.2.1	Wahrscheinlichkeitstheorie	9
2.2.2	A-Priori-Wahrscheinlichkeit	12
2.2.3	Likelihood	12
2.2.4	Evidenz	13
2.2.5	A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit	14
2.2.6	Inferenz	14
3	Methodenvorstellung	17
3.1	Methodenabgleich.....	17
3.2	Bayesian Belief Network	19
3.2.1	Herleitung des Satz von Bayes.....	20
3.2.2	Visuelle Bestandteile	22
3.2.3	Rechnerische Bestandteile	24
3.2.4	Conditional Probability Table.....	27
3.2.5	Sensitivitätsanalyse	28
4	Methodenanwendung	31
4.1	Einflussfaktoren auf die Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden....	31
4.1.1	Ermittlung der Eigenschaften einer Veranstaltung	31

4.1.2 Identifizierung der Einflussfaktoren auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen	33
4.2 Entwicklung des Bayesian Belief Networks	43
4.2.1 Visualisierung des Bayesian Belief Networks	43
4.2.2 Quantifizierung des Bayesian Belief Networks.....	47
4.2.3 Funktionsweise des Bayesian Belief Networks	63
4.2.4 Sensitivitätsanalyse des Bayesian Belief Networks	66
5 Zusammenfassung	69
6 Fazit und Ausblick	71
Literatur	73
Anhang I : Theoretische Beispiele der Beziehungsarten.....	75
Seriell	75
Divergent	76
Anhang II : Eigenschaften einer Veranstaltung und ihrer Umgebung.....	79
Liste.....	79
Mindmap.....	81
Anhang III : Bayesian Belief Network zur Ermittlung der Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung.....	83
Variablen.....	83
DAG.....	84
BBN	85
Eidesstattliche Erklärung	87

I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Theoretischer Besucherverlauf einer Veranstaltung	7
Abbildung 2:	BBN einer Beispielveranstaltung	10
Abbildung 3:	Theoreme des Satz von Bayes anhand der evidenzbasierten Form	12
Abbildung 4:	Unterschiedliche Graphenarten	23
Abbildung 5:	Beziehungsvarianten der Knoten und Kanten.....	23
Abbildung 6:	Beispiel-BBN einer konvergenten Beziehung	25
Abbildung 7:	Vorgehen zur Identifizierung der Einflussfaktoren.....	31
Abbildung 8:	Theoretische Schnittmenge der Personengruppen bei einem von der Veranstaltungsart abweichenden Programmpunkt.....	35
Abbildung 9:	Theoretische Verteilung der Anzahl der Besuchenden bei unterschiedlicher Veranstaltungsdauer.....	36
Abbildung 10:	Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Tagesart ..	37
Abbildung 11:	Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Tageszeit	37
Abbildung 12:	Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Kombination von Tagesart und -zeit	38
Abbildung 13:	BBN der Verfügbarkeit von Freizeit.....	38
Abbildung 14:	BBN-Teilausschnitt der Hilfsvariablen	45
Abbildung 15:	CPTs der Veranstaltungsart, zeitlichen Limitierung und dem Programm	50
Abbildung 16:	CPT des internen Veranstaltungscharakters.....	51
Abbildung 17:	CPT der Parallelveranstaltung	52
Abbildung 18:	CPT der Attraktivität.....	53
Abbildung 19:	CPTs des Marketings und des gesellschaftlichen Stellenwerts	54
Abbildung 20:	CPT der Aufmerksamkeit.....	55
Abbildung 21:	CPT der Anziehungskraft.....	55
Abbildung 22:	CPTs der Tagesart und -zeit.....	57
Abbildung 23:	CPT der Verfügbarkeit von Freizeit.....	58
Abbildung 24:	CPTs des Wetters und der Location.....	59
Abbildung 25:	CPT des Freizeitverhaltens.....	59
Abbildung 26:	CPT der Freizeit	60
Abbildung 27:	CPTs des Mobilitätsangebotes und der Unterbringungsmöglichkeiten ...	61
Abbildung 28:	CPT der örtlichen Infrastruktur	61
Abbildung 29:	CPT der $PAX_{max,t}$	62
Abbildung 30:	BBN bei festgesetzten Zuständen und freiem gesellschaftlichen Stellenwert und Wetter	64

Abbildung 31:	BBN-Teilausschnitt bei variierenden Wahrscheinlichkeitszuständen des gesellschaftlichen Stellenwerts und des Wetters65
Abbildung 32:	Sensitivitätsanalyse67

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	CPT einer Beispielveranstaltung	10
Tabelle 2:	Methodenabgleich der probabilistischen Modelle	18
Tabelle 3:	Theoretischer CPT über die Likelihood.....	27
Tabelle 4:	Theoretischer CPT über die gemeinsame Wahrscheinlichkeit	27
Tabelle 5:	CPT der gemeinsamen Wahrscheinlichkeit der Anziehungskraft der Beispielveranstaltung.....	28
Tabelle 6:	Beziehungsmatrix zwischen den Einflussfaktoren und den Zielvariablen.....	44
Tabelle 7:	Beziehungsmatrix zwischen den Einflussfaktoren und den Hilfsvariablen	46
Tabelle 8:	Rangfolge der Einflussfaktoren und Hilfsvariablen	48
Tabelle 9:	Rangfolge der Einflussfaktoren	49
Tabelle 10:	Berechnungen der Tagesart	56
Tabelle 11:	Berechnungen der Tageszeit.....	57
Tabelle 12:	Wahrscheinlichkeiten der $PAX_{\max,t}$ bei variierendem Wetter und gesellschaftlichem Stellenwert.....	66
Tabelle 13:	Sensitivitätsanalyse.....	67

III Abkürzungsverzeichnis

BBN.....	<i>Bayesian Belief Network</i>
CPT.....	conditional probability table (Tabelle der bedingten Wahrscheinlichkeiten)
DAG.....	<i>directed acyclic graph (gerichteter azyklischer Graph)</i>
EF.....	<i>Einflussfaktor</i>
HV.....	<i>Hilfsvariable</i>
$PAX_{\max,t}$	<i>Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden</i>
VStättV(O).....	Versammlungsstättenverordnungen

1 Einleitung

1.1 Vorstellung des Themas

Die Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden ($PAX_{\max,t}$ ¹) auf einer (öffentlichen) Veranstaltung ist unter anderem ausschlaggebend dafür, ob die Veranstaltung genehmigungsfrei ist, mit den (Sicherheits-²)Behörden abgestimmt werden muss oder einem Genehmigungsverfahren unterliegt. Aber auch andere Faktoren wie beispielsweise die Einsatzstärke des Sicherheits- und Ordnungsdienstpersonals oder die des Sanitätswachdienstes richten sich nach der Anzahl der Besuchenden. Außerdem orientieren sich weitere Aspekte der Veranstaltung, wie die Verkehrs- und Infrastrukturplanung, nach der Zahl der Besuchenden. Bei diesen Planungen wird der Mensch als Grundlage stets in das Zentrum der entsprechenden Betrachtungen gesetzt.

Für die Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf einer öffentlichen Veranstaltung gibt es jedoch kein einheitliches Rechenverfahren, welches die Menge annähernd prognostizieren könnte. Da bei öffentlich-freizugänglichen Veranstaltungen kein Eintrittskartenverkauf erfolgt, kann die Anzahl der Besuchenden nicht anhand der verkauften Tickets abgeleitet werden. Eine Herangehensweise zur Annäherung an die Besucherzahl erfolgt, wenn vorhanden, über Referenzwerte aus vergangenen Veranstaltungen – den gleichen oder solchen mit ähnlichem Charakter. Diese Referenzwerte, welche hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit nicht überprüft werden können, werden durch die veranstaltende Organisation bzw. Person neu bewertet und ggf. angepasst. Sollten keine Referenzwerte vorhanden sein, wird oft die Kapazität der Besuchenden, welche über die Nettofläche der Veranstaltung ermittelt wurde (siehe Kapitel 2.1.3), herangezogen. Diese wird dann ähnlich wie bei der vorherigen Herangehensweise von der veranstaltenden Organisation bzw. Person abgeschätzt und angepasst. Bei der Neubewertung können von den bewertenden Personen ausgehend objektive und subjektive Einflüsse auf die Bewertung einwirken. Durch diese Einflüsse, die sich aus den Erfahrungswerten und der Erwartungshaltung zusammensetzen, kann die geschätzte Anzahl an Besuchenden verzerrt und verfälscht werden. Die Belastbarkeit der Herangehensweisen ist demnach kritisch hinsichtlich der Objektivität³ und Reliabilität⁴ zu bewerten. Hierbei ist es entsprechend vorteilhaft, auf Expertenwissen

¹ PAX steht für persons approximately (ungefähre Personenzahl) und kann im Veranstaltungswesen als Beschreibung der erwarteten Anzahl der Besuchenden verwendet werden. Durch die Ergänzung von \max,t (maximal und zeitgleich) ist die Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden gemeint.

² Hier erfolgt eine Differenzierung zwischen den am Genehmigungsverfahren beteiligten Sicherheitsbehörden, wie der Polizei oder der Feuerwehr, und den Verwaltungsbehörden, wie dem Bezirksamt.

³ Die Objektivität ist ein wissenschaftliches Gütekriterium für Daten und beschreibt ihre (Un-)Abhängigkeit von den messenden Personen.

⁴ Die Reliabilität ist ein wissenschaftliches Gütekriterium für Daten und beschreibt ihre Reproduzierbarkeit.

zurückzugreifen und sie in die Neubewertung miteinfließen zu lassen, ohne sie durch Erwartungshaltungen zu korrumpieren.

Diese Arbeit widmet sich dem Entwurf einer Prognosemethode zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf öffentlichen (Groß-)⁵Veranstaltungen anhand eines Bayesian Belief Network (BBN). Damit gemeint sind Veranstaltungen, die über eine gewisse Größenordnung verfügen, öffentlich-freizugänglich und dementsprechend ohne Ticket betretbar sind. Primär gibt diese Arbeit einen Anstoß für die Entwicklung eines solchen Prognoseverfahrens und prüft, ob sich ein BBN zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ eignet. Dazu wird ein erster theoretischer Prototyp, der möglichst allgemeingültig die Einflüsse auf die $PAX_{\max,t}$ wiedergibt, entwickelt. Der Prototyp soll so konzipiert sein, dass ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess möglich ist, in dem anhand neuer Erkenntnisse und Daten eine Aktualisierung erfolgen kann und diese in das BBN integriert werden können. Dies ist insofern auch nötig, da zum jetzigen Zeitpunkt geringe evidenzbasierte Datenmengen in dem Themenbereich vorhanden sind.

Nicht Bestandteil dieser Arbeit ist die Einführung in die verwendete Software, die zur Erstellung des BBNs verwendet wurde. Die Ermittlung des genauen Zeitpunktes, an dem die $PAX_{\max,t}$ erreicht ist, gehört ebenfalls nicht zu dieser Bachelorarbeit. Zudem ist die Fertigstellung der Methode zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung nicht im Rahmen dieser Bachelorarbeit vorgesehen. Dies bedarf weiterer Forschung sowie das Erheben und Analysieren von Daten, die das Prognoseverfahren erweitern und vervollständigen.

1.2 Aufbau und Herangehensweise

Aufgrund der Interdisziplinarität der Veranstaltungsbranche werden die in dieser Bachelorarbeit behandelten Themen mit den ingenieurwissenschaftlichen Methoden abgestimmt, um deren Inhalte in Einklang zu bringen und einen Praxisbezug zu wahren.

Zu Beginn der Arbeit stehen die Wissensbausteine, welche ergänzendes Grundwissen zu Veranstaltungen und den nötigen statistischen Begriffen liefern sollen, die im Rahmen dieser Bachelorarbeit thematisiert werden. Diese Wissensvermittlung dient als Grundlage dazu, die Ausführungen in den darauffolgenden Kapiteln zum BBN und der öffentlichen (Groß-)Veranstaltung besser nachvollziehen zu können.

Im darauffolgenden Abschnitt der Methodenvorstellung vergleicht die Arbeit zunächst die möglichen statistischen Methoden, die für die Thematik infrage kommen und beschreibt

⁵ Von der Verwendung des Begriffs der Großveranstaltung wird abgesehen, da dieser nicht klar definiert ist. Um in den Texten zu verdeutlichen, wann eine Veranstaltung oder eine Veranstaltung größeren Ausmaßes gemeint ist, wird zwischen Veranstaltung und (Groß-)Veranstaltung unterschieden. Die Erläuterung dazu ist in Kapitel 2.1.1 zu finden.

anschließend die ausgewählte Methode, das BBN. Zur Eingrenzung der Vielzahl an Methoden definiert der Vergleich zunächst die Anforderungen und Funktionen der Prognosemethode zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung und gleicht sie mit den Eigenschaften der möglichen Methoden ab. Das Grundprinzip des BBNs, welches sich aus dem Methodenabgleich als geeignet ergeben hat, wird daraufhin ausführlich beschrieben. Dabei erläutert die Arbeit die rechnerische Systematik und die visuellen Bestandteile, aus dem sich das BBN zusammensetzt und wie diese miteinander interagieren. Zu diesen Bestandteile gehören beispielsweise der Satz von Bayes, der Conditional Probability Table (CPT), die Sensitivitätsanalyse und der gerichtete azyklische Graph (DAG von directed acyclic graph).

Im Abschnitt der Methodenanwendung werden die Einflussfaktoren (EF) und deren Zustände, die sich auf die $PAX_{max,t}$ auswirken, identifiziert, um anhand dessen das BBN zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$ zu konzipieren. Zunächst erfasst das Kapitel die allgemeinen Eigenschaften einer Veranstaltung und ihrer Umgebung, um potenzielle EF zu ermitteln. Anschließend erfolgt die Prüfung der Eigenschaften auf Eignung als EF auf die $PAX_{max,t}$ einer (Groß-)Veranstaltung. Beim Konzipieren des BBNs werden die Beziehungen zwischen den EFs ermittelt und anhand dieser die Struktur des DAGs visualisiert. Daraufhin werden die CPTs der EFs bestimmt. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus dem Mangel an evidenzbasierten Daten, sodass bei der Konzeption Rückschlüsse auf Basis von Annahmen erfolgen. Zum Abschluss des Kapitels verdeutlicht ein Beispiel die Funktionsweise des BBNs zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$. Zudem erfolgt exemplarisch eine Sensitivitätsanalyse.

Zuletzt werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und ein Fazit formuliert, welches einen Ausblick auf das weitere mögliche Vorgehen gibt.

2 Wissensbausteine

2.1 Wissensbausteine zu Veranstaltungen

Die Wissensbausteine zu Veranstaltungen beschreiben die Zusammenhänge und Hintergründe, die rechtlich, organisatorisch sowie strukturell dem Veranstaltungswesen angehören.

2.1.1 Öffentliche Veranstaltungen

Als öffentliche Veranstaltungen gelten Veranstaltungen, welche der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich sind. Die Teilnahme an der öffentlichen Veranstaltung kann an Eintrittskarten gebunden sein. Der entscheidende Unterschied zu privaten Veranstaltungen besteht darin, dass die Personengruppe nicht vordefiniert ist. Das heißt, die öffentlich veranstaltende Organisation bzw. Person bietet der Öffentlichkeit Eintrittskarten an, während die privat veranstaltende Organisation bzw. Person den Eintritt nur den von ihr vorbestimmten Personen erlaubt. Weiter differenziert ergibt sich die öffentlich-freizugängliche Veranstaltung, bei der die Öffentlichkeit ohne Eintrittskarten an der Veranstaltung teilnehmen kann. Somit ist die Anzahl der Besuchenden nicht anhand von Eintrittskarten ableitbar. Ein Ticketing ist entsprechend auch nicht möglich, wodurch personenbezogene Daten zum An- und Abreiseprofil der Besuchenden nicht erfasst werden können.

Öffentliche Veranstaltungen können trotz ihres frei zugänglichen Charakters in der Personenkapazität beschränkt sein. Diese Personenkapazität einer Veranstaltung kann durch verschiedene Betrachtungen ermittelt werden (siehe Kapitel 2.1.3).

2.1.2 Genehmigungspflichtige Veranstaltungen

Eine Großveranstaltung beschreibt eine Veranstaltung mit einer großen Anzahl an Besuchenden. Eine weitestgehend einheitliche und spezifische Definition der Großveranstaltung gibt es nicht. Aufgrund des föderalistischen Organisationsprinzips in Deutschland gibt es mehrere voneinander abweichende Beschreibungsansätze einer Großveranstaltung bzw. einer genehmigungspflichtigen Veranstaltung. Der Begriff Großveranstaltung impliziert hierbei meist eine genehmigungspflichtige Veranstaltung. Eine genehmigungspflichtige Veranstaltung gilt jedoch nicht zwangsläufig als Großveranstaltung.

In einigen Gesetztestexten, Verordnungen oder Leitfäden der Bundesländer, darunter beispielsweise Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Berlin, Hessen, Bayern und Rheinland-Pfalz, gibt es Beschreibungen zu genehmigungspflichtigen Veranstaltungen.

In § 31 in dem hamburgischen Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ist das Genehmigungsverfahren für öffentliche Veranstaltungen festgeschrieben. Hier wird von einer genehmigungspflichtigen (Groß-)Veranstaltung gesprochen, wenn zeitgleich (siehe Kapitel 2.1.3) mehr als 10 000 Veranstaltungsteilnehmende erwartet werden oder eine Veranstaltung

mit erhöhtem Gefährdungspotenzial unabhängig von der Teilnehmerzahl genehmigungspflichtig (Hansestadt Hamburg 1966:26).

In ähnlicher Weise geht das Ministerium des Innern Nordrhein-Westfalen mit seinem Orientierungsrahmen für die kommunale Planung, Genehmigung, Durchführung und Nachbereitung von Veranstaltungen im Freien mit erhöhtem Gefährdungspotenzial an genehmigungspflichtige Veranstaltungen heran. Die Genehmigungspflicht einer Veranstaltung wird hierbei ebenfalls nicht allein anhand der Besucherzahl festgelegt, sondern auch anhand des Gefährdungspotenzials. Die Anzahl der Besuchenden wird nicht im Orientierungsrahmen beziffert (Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2021:11). Die vorherige Auflage des Orientierungsrahmens bediente sich noch des Begriffs der Großveranstaltung und beziffert diese mit 100 000 Besuchenden, die täglich an der Veranstaltung teilnehmen oder wenn die Anzahl der Besuchenden ein Drittel der Kommunenmitglieder übersteigt und sich diese Anzahl auf mindestens 5 000 beläuft (Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2012:5).

Auch Berlin, Hessen und die Stadt München lassen von einer genaueren Definition der Großveranstaltung ab und ziehen die Eigenschaften einer Veranstaltung, der Besuchenden und der Umgebung der Veranstaltung zur Bestimmung der Genehmigungspflicht einer Veranstaltung heran. Dabei kann die Genehmigungspflicht von der Anzahl und dem Profil der Besuchenden, der Art, Größe und Infrastruktur der Veranstaltung sowie von den örtlichen Gegebenheiten abhängig sein (Berlin 2006:22; Hessisches Ministerium des Innern und für Sport 2013:6–9; Bachmeier u. a. 2015:16–17).

Durch diese Betrachtungsweisen richtet sich der Fokus der Genehmigungspflicht einer Veranstaltung nicht allein auf die Anzahl der Besuchenden, sondern gesamtheitlich auf die Veranstaltungseigenschaften und die möglichen externen Einflüsse.

Andere Kriterien legt Rheinland-Pfalz in § 26 (Gefahrenvorsorge und Gefahrenabwehr bei öffentlichen Veranstaltungen unter freiem Himmel) des Polizei- und Ordnungsbehördengesetzes fest. In diesem wird eine Großveranstaltung beschrieben als eine Veranstaltung mit voraussichtlich mehr als 15 000 Personen zeitgleich oder 30 000 Personen täglich im Durchlauf (Rheinland-Pfalz 2024:1). Weiter wird in der Auslegungsverordnung des § 26 eine Definition der kleinen ($PAX_{\max,t} < 5.000$) und der mittelgroßen Veranstaltung aufgeführt (Ministerium des Inneren und für Sport Rheinland-Pfalz 2023:7–8).

§ 43 der Versammlungsstättenverordnung⁶ (VStättV(O))⁷ hält fest, wann das Einvernehmen mit den Behörden aufzustellen und wann ein Sicherheitskonzept bzw. ein Ordnungsdienst erforderlich ist. Für Versammlungsstätte mit mehr als 5 000 Besuchendenplätzen hat die veranstaltende Organisation bzw. Person das Einvernehmen mit den zuständigen (Sicherheits-)Behörden über ein Sicherheitskonzept zu erzielen. Sicherheitskonzepte können auch dann nötig sein, wenn es die Art der Veranstaltung bedingt (Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2005:24).

Demnach sind Veranstaltungen, die nicht unter eine genehmigungspflichtige (Groß-)Veranstaltung fallen, aber unter § 43 Satz 2 der VStättV(O), mit den zuständigen Behörden abzustimmen und von diesen freizugeben.

2.1.3 Maximal zeitgleich anwesende Besuchende und zulässige Personenkapazität

Die $PAX_{max,t}$ beschreibt die Höchstzahl an Besuchenden, die sich zum selben Zeitpunkt auf der Veranstaltung befinden (siehe Abbildung 1). Zu welchem Zeitpunkt genau einer Veranstaltung das $PAX_{max,t}$ und dessen genauer Wert erreicht ist, ist vor einer Veranstaltung unbekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die $PAX_{max,t}$ zu dem Zeitpunkt einer Veranstaltung auftritt, an dem dessen Anziehungskraft am größten ist.

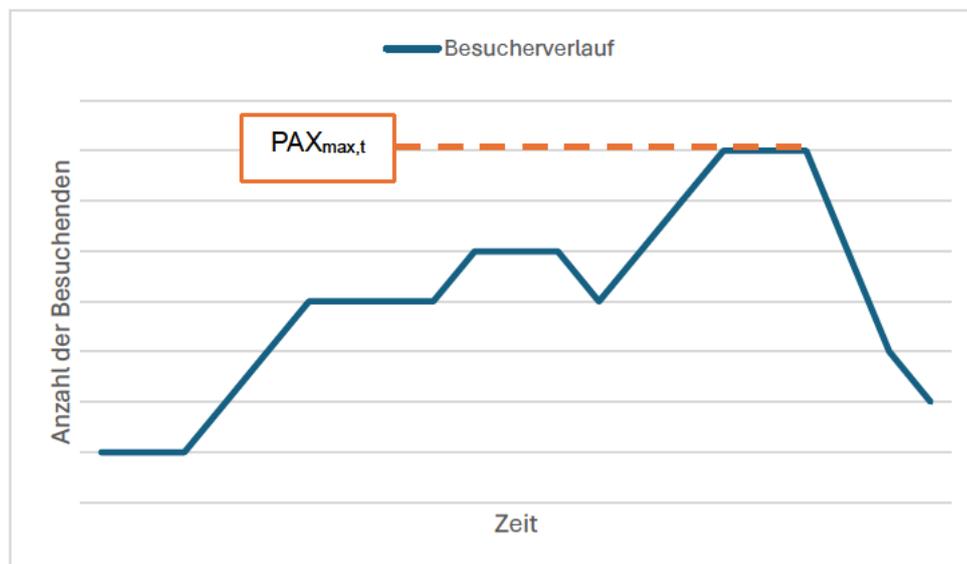


Abbildung 1: Theoretischer Besucherverlauf einer Veranstaltung

⁶ Als Vereinfachung wird hier verallgemeinert von der VStättV(O) gesprochen, auch wenn in einigen Bundesländern die entsprechende Verordnung anders benannt oder untergebracht ist.

⁷ Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die gemachten Angaben über die VStättV(O) auf die Muster-VStättV(O).

Der $PAX_{max,t}$ steht die zulässige Personenkapazität der Veranstaltung gegenüber. Diese definiert die erlaubte Anzahl der Veranstaltungsteilnehmenden (Besuchende und Mitwirkende). Die zulässige Personenkapazität von Veranstaltungsstätten, die unter die VStättV(O) fallen, kann bereits im Vorfeld in der Baugenehmigung bzw. dem Brandschutzkonzept festgeschrieben sein. Unter die VStättV(O) fallen Versammlungsstätten, deren Räume einzeln mehr als 200 Besuchende fassen oder insgesamt mehr als 200 Besuchende fassen und gemeinsame Rettungswege haben. Als Versammlungsstätten gelten auch Versammlungsstätten im Freien mit Szeneflächen und Tribünen, die keine Fliegenden Bauten⁸ sind und insgesamt mehr als 1 000 Besuchende fassen. Aber auch Sportstadien und Freisportanlagen mit Tribünen, die keine Fliegenden Bauten sind und insgesamt 5 000 Besuchende fassen fallen unter die VStättV(O) (Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2005:4). Je nach Bundesland variieren die Definitionen leicht voneinander.

Weiter muss die Anzahl anhand der Flächenkapazitäten und der Rettungswegbreiten entsprechend der VStättV(O) betrachtet werden.

Bei der Kapazitätsberechnung der Besuchenden über die Flächenkapazität wird die Nettofläche verwendet. Die Nettofläche ist die Bruttofläche abzüglich der Aufbauten und weiterer nicht frei zugänglicher Bereiche für Besuchende. Die Nettofläche selbst kann dabei noch in Ausstellungsräume, Steh- und Sitzbereiche aufgeteilt werden. Entsprechend der Nutzung der Fläche ist je m² eine bestimmte Anzahl an Besuchenden zu veranschlagen (Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2005:4). Das Verhältnis von Fläche zu Besuchenden ist in der entsprechenden VStättV(O) des betreffenden Bundeslandes definiert. Die Summe der Kapazität der Besuchenden der Nutzungsbereich ist dann die Gesamtkapazität der Nettofläche.

Anhand der Rettungswegbreiten ist zudem die Personenkapazität der Veranstaltung zu berechnen. Dabei ist das Maß der lichten Breite des Rettungsweges entscheidend. Diese müssen mindestens 1,20 m betragen um berücksichtigt zu werden. Die ersten 1,20 m reichen je nach Art der Versammlungsstätte für eine bestimmte Anzahl an Personen. Es wird nach Versammlungsstätten im Freien sowie Sportstadien und anderen Versammlungsstätten differenziert. Über Breiten von 1,20 m hinaus werde diese, je nach Bundesland, gestaffelt erweitert oder mittels der Interpolation Zwischenwerte gebildet. Die Summe aus den Personenzahlen aller Rettungswege ergibt die Personenkapazität nach der Rettungswegbreite (Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2005:8). Zieht man von diesem Wert die Anzahl der Mitwirkenden der Veranstaltung ab, ergibt sich daraus die Kapazität der Besuchenden.

Als entscheidende Kapazität für die Besuchenden die aus der Baugenehmigung, den Flächenkapazitäten und den Rettungswegbreiten abgeleitet werden können, ist die geringstmögliche

⁸ Als Fliegende Bauten werden bauliche Anlagen bezeichnet, die wiederholt an verschiedenen Orten auf- und abgebaut werden (Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2002:62).

zu wählen. Alternativ kann von der veranstaltenden Organisation bzw. Person eine eigens gewählte Beschränkung der Anzahl der Besuchenden vorgenommen werden. Diese hat sich dabei unterhalb der festgeschriebenen geringstmöglichen Kapazität der Besuchenden zu befinden, wodurch die Regelungen der VStättV(O) nicht versagt werden, solange die Veranstaltung unter diese fällt. Die VStättV(O) kann als Stand der Technik auch für Veranstaltungen als Orientierung dienen, die ihr nicht unterliegen.

Bei Veranstaltungen mit besonderen Bereichen, beispielsweise Bühnen- oder Szeneflächen, sollten diese Bereiche hinsichtlich der Kapazität gesondert betrachtet werden. Dadurch können innerhalb der Veranstaltung kapazitätsbeschränkte Bereiche entstehen, welche einen Anteil der gesamten Kapazität der Besuchenden auf der Veranstaltung ausmachen.

2.2 Wissensbausteine zur Statistik

In diesem Kapitel werden die Wissensbausteine zur Statistik beschrieben. Es erläutert grundlegende Begriffe, die in dieser Bachelorarbeit Verwendung finden, und beschreibt die mit dem BBN zusammenhängenden Begriffe. Die Fokussierung in diesem Kapitel auf das BBN erfolgt aufgrund der Anwendbarkeit dieser Methode auf die Thematik (siehe Kapitel 3.1), die dieser Bachelorarbeit zugrunde liegt.

2.2.1 Wahrscheinlichkeitstheorie

Die Probabilistik, auch Wahrscheinlichkeitstheorie oder -rechnung genannt, setzt sich mit der Beschreibung und Analyse von Zufällen und Unsicherheiten auseinander, wodurch es möglich wird, die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen zu prognostizieren. Diese Wahrscheinlichkeit (P von probability) ist das Maß, welches angibt, mit welcher Sicher- oder Unsicherheit das Eintreten eines Ereignisses ist.

Je nach Hypothese und abhängig von den vorhandenen Datenarten und -mengen gibt es zu den meisten dieser möglichen Kombinationen eine Methode bzw. ein Modell. Dazu gehört auch der Satz von Bayes, welcher die Rechengrundlage des BBNs darstellt. Der Satz von Bayes ermöglicht es, durch die Kombination der bedingten und der totalen Wahrscheinlichkeit die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses durch die bekannte Wahrscheinlichkeit des vorläufigen Ereignisses zu berechnen, wodurch die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten auch in einem komplexeren Zusammenhang möglich ist. Durch diese Eigenschaften eignet sich das BBN als Methode zur Prognose der $PAX_{\max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung (siehe Kapitel 3.1). Nachfolgend werden die statistischen Komponenten, welche dem Satz von Bayes zugrundeliegen, erläutert.

Bei dem Rückschluss von Wahrscheinlichkeiten aus Erfahrungswerten werden vorhandene Daten oder persönliche Einschätzungen verwendet. Beispielsweise möchte eine

veranstaltende Organisation bzw. Person die Anziehungskraft (B) einer Veranstaltung unter der Berücksichtigung des Wetters (A) bestimmen (siehe Abbildung 2). Die nachfolgende Abbildung 2 mutet einem ersten, sehr vereinfachten BBN, bestehend aus zwei Variablen, an.

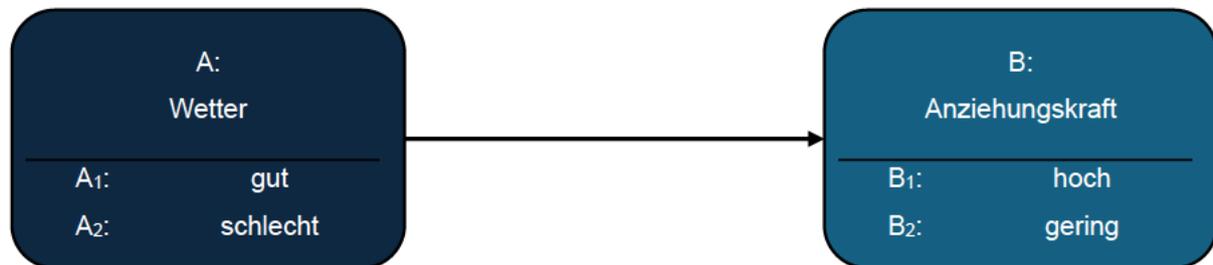


Abbildung 2: BBN einer Beispielveranstaltung

Dazu schätzt die veranstaltende Organisation bzw. Person anhand ihrer Erfahrungswerte die Wahrscheinlichkeit einer hohen bzw. niedrigen Anziehungskraft bei gutem oder schlechtem Wetter ab. Konkret könnte rückgeschlossen werden, dass bei gutem Wetter mit einer hohen Anziehungskraft zu 80 % zu rechnen ist. Die weiteren geschätzten Wahrscheinlichkeiten sind in dem nachfolgenden CPT aufgefasst (siehe Tabelle 1). Ein CPT ist eine Tabelle, welche die bedingten Wahrscheinlichkeiten zwischen Ereignissen beschreibt. Die weiterführenden Erläuterungen zu den CPTs sind in Kapitel 3.2.4 zu finden.

Tabelle 1: CPT einer Beispielveranstaltung

	A1: Gutes Wetter	A2: Schlechtes Wetter
B1: Hohe Anziehungskraft	0,80	0,40
B2: Geringe Anziehungskraft	0,20	0,60

Auf Grundlage einer Wettervorhersage wird die Wahrscheinlichkeit für schlechtes Wetter (A₂) zur Veranstaltung mit 30 % und für gutes (A₁) mit 70 % angegeben. Es wird also mit einer großen Anziehungskraft der Veranstaltung gerechnet.

Die bedingte bzw. abhängige Wahrscheinlichkeit beschreibt eine Wahrscheinlichkeit, welche durch eine weitere Wahrscheinlichkeit eines oder mehrerer Ereignisse beeinflusst wird, da zwischen diesen Ereignissen ein kausaler Zusammenhang besteht (Ertel 2016:143; Fahrmeir u. a. 2023:207 & 211; Jensen 2001:12):

$$P_{B|A} = \frac{P_{A \cap B}}{P_A} \quad (1)$$

Formel (1) besagt, dass die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses B unter der Voraussetzung des Eintretens von Ereignis A der Wahrscheinlichkeit entspricht, dass die Ereignisse A und B gemeinsam auftreten, dividiert durch die Eintrittswahrscheinlichkeit von A (Ertel 2016:143; Fahrmeir u. a. 2023:210–211; Jensen 2001:12).

Bezogen auf das vorherige Beispiel (siehe Abbildung 2) ist die Anziehungskraft abhängig von den Wahrscheinlichkeiten der Wettereigenschaften, da ein kausaler Zusammenhang besteht. Nähme die Wahrscheinlichkeit für schlechtes Wetter zu, so würde sich dadurch auch die Anziehungskraft der Veranstaltung ändern.

In Bezug auf die bedingte Wahrscheinlichkeit können die Summen von mehreren in Beziehung gesetzten Wahrscheinlichkeiten verwendet werden, um die Eintrittswahrscheinlichkeit des resultierenden Ereignisses zu ermitteln. Dieses Konzept wird als die totale Wahrscheinlichkeit bezeichnet (Fahrmeir u. a. 2023:215 & 217; Jensen 2001:14–15):

$$P_B = \sum_i P_{B|A_i} \cdot P_{A_i} \quad (2)$$

Formel (2) beschreibt, dass die Summe aller möglichen Teilwahrscheinlichkeiten von Ereignis A multipliziert mit der bedingten Wahrscheinlichkeit von Ereignis B unter der entsprechenden Teilwahrscheinlichkeit von A die Wahrscheinlichkeit von B widerspiegelt.

Beschrieben an dem Beispiel (siehe Abbildung 2) werden die Teilwahrscheinlichkeiten des Wetters (A_1 und A_2) herangezogen und anhand der bedingten Wahrscheinlichkeiten gewichtet, wodurch die Wahrscheinlichkeit von B berechnet werden kann. Eingesetzt in die Formel würde diese wie folgendermaßen aussehen:

$$P_B = P_{B|A_1} \cdot P_{A_1} + P_{B|A_2} \cdot P_{A_2} \quad (3)$$

Durch die Kombination der bedingten und totalen Wahrscheinlichkeit ergibt sich der Satz von Bayes (Ertel 2016:146; Fahrmeir u. a. 2023:217; Jensen 2001:12):

$$P_{B|A} = \frac{P_{A|B} \cdot P_B}{P_A} \quad (4)$$

Der Satz von Bayes (4) berechnet anhand der Multiplikation der bedingten Wahrscheinlichkeit von A bedingt durch B mit der Wahrscheinlichkeit von B dividiert durch die Wahrscheinlichkeit von A die bedingte Wahrscheinlichkeit von B bedingt durch A (Jensen 2001:12). Die Herleitung des Satz von Bayes und wo die bedingte und totale Wahrscheinlichkeit zu tragen kommt, wird in Kapitel 3.2.1 ausführlich beschrieben.

Dem Satz von Bayes liegt noch eine weitere Fähigkeit zugrunde, mit welcher dieser die Berechnung der Wahrscheinlichkeit in entgegengesetzte Richtung möglich macht. Dies bedeutet, dass anstelle vom Schließen der Wahrscheinlichkeit von Ereignis B über den Zustand von A der Zustand von A durch das dann beobachtete Ereignis B möglich ist (Jensen 2001:6). Die

weitere Ausführung anhand des Beispiels (siehe Abbildung 2) zur umgekehrten Berechnung ist in Kapitel 2.2.5 beschrieben.

Den Satz von Bayes kann ausgelegt nach der Evidenz (E) in dessen Normierung abweichen und beispielsweise bei einer vorliegenden Evidenz von B, unterteilt in dessen Theoremen, folgende Darstellung annehmen (Fahrmeir u. a. 2023:218; Jensen 2001:40–41):

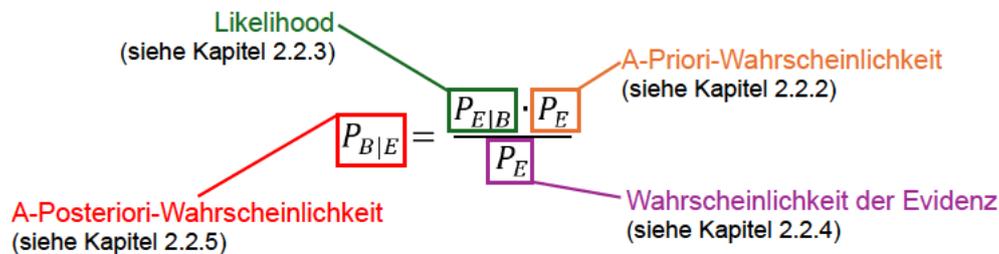


Abbildung 3: Theoreme des Satz von Bayes anhand der evidenzbasierten Form

Zusammen ermöglichen es die Theoreme, dass, berechnet durch den Satz von Bayes, das BBN flexibel auf neue Evidenzen reagiert und die Wahrscheinlichkeitsrechnung dynamisch aktualisiert wird. Dieser Prozess wird Inferenz genannt (siehe Kapitel 2.2.6). Die Bedeutungen dieser Theoreme werden in den nachfolgenden Unterkapiteln der Wissensbausteine für Statistik aufgeführt und in der Herleitung des Satz von Bayes (siehe Kapitel 3.2.1) aufgezeigt.

2.2.2 A-Priori-Wahrscheinlichkeit

Die A-Priori-Wahrscheinlichkeit (P_A) oder auch Priori-Wahrscheinlichkeit ist ein Begriff aus der Wahrscheinlichkeitstheorie und findet sich als Theorem im Satz von Bayes wieder. Sie ist die erste anfängliche Annahme der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, die auf Erfahrungswerten beruht (Fahrmeir u. a. 2023:218).

Bezogen auf das Beispiel zur Anziehungskraft einer Veranstaltung ist die Wettervorhersage, dass es zu 30 % schlechtes Wetter (A_2) und zu 70 % gutes Wetter (A_1) geben wird, die A-Priori-Wahrscheinlichkeit (siehe Abbildung 2).

2.2.3 Likelihood

Die Likelihood ist das Maß dafür, wie wahrscheinlich es ist, dass eine Beobachtung (Evidenz) innerhalb eines Modells auftritt und wie gut diese die beobachteten Daten im Modell repräsentieren (Charniak 1991:52; Jensen 2001:13).

Die Likelihood ($P_{E|A}$) als Theorem im Satz von Bayes gibt nach der vorherigen Definition an, wie wahrscheinlich es ist, dass die Evidenz die Ursache von dem Ereignis ist (Jensen 2001:13). Im Satz von Bayes wirkt die Likelihood dann weiter als ein Faktor, der bestimmt, wie stark sich die Beobachtung auf die Berechnung auswirkt (Charniak 1991:52; Jensen 2001:13). Die Likelihood

im BBN wird dabei auch im CPT aufgefasst. Ein CPT ist eine Tabelle, welche die bedingten Wahrscheinlichkeiten zwischen Ereignissen beschreibt (siehe Kapitel 3.2.4).

Im Beispiel der Anziehungskraft (B) einer Veranstaltung, welche durch den Einfluss des Wetters (A) bedingt wird (siehe Abbildung 2), sagt die Likelihood aus, wie wahrscheinlich es ist, bei gutem bzw. schlechtem Wetter eine hohe bzw. geringe Anziehungskraft zu haben. Die Werte der Likelihood wurden bereits aus dem Expertenwissen der veranstaltenden Organisation bzw. Person geschätzt und in einem CPT zusammengefasst (siehe Tabelle 1).

2.2.4 Evidenz

Die Evidenz gilt in der Statistik allgemein als eine Beobachtung eines Ereignisses, welche als Nachweis verwendet werden kann, um eine Hypothese zu verifizieren⁹ oder zu falsifizieren¹⁰. Dabei kann die Evidenz eine konkrete Messung, erhobene Daten oder Erfahrungswerte darstellen.

Im BBN wird zwischen zwei Bedeutungen unterschieden: der Evidenz (E) und der Wahrscheinlichkeit der Evidenz (P_E). Die Evidenz entspricht der allgemeinen Definition und stellt somit beobachtete oder gemessene Daten da, die aus externen Quellen stammen. Aufgrund dieser Betrachtungsweise kann die Evidenz als ein Input angesehen werden, der in das BBN eingebracht wird (Charniak 1991:52; Jensen 2001:10 & 24–25).

Als weiteres Theorem im Satz von Bayes stellt die Wahrscheinlichkeit der Evidenz die unabhängige Gesamtwahrscheinlichkeit der Evidenz dar. Zur Berechnung der Evidenz werden die A-Priori-Wahrscheinlichkeit und die Likelihood benötigt und mittels der totalen Wahrscheinlichkeit berechnet (Charniak 1991:52; Jensen 2001:24–25):

$$P_E = \sum_i P_{A_i} * P_{E|A_i} \quad (5)$$

Die Wahrscheinlichkeit der Evidenz fungiert dabei als Normalisierungsfaktor im BBN und gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Ereignis überhaupt beobachtet werden kann, ohne von einem anderen Ereignis abhängig zu sein. Die Werte von P_E können so interpretiert werden, dass größere Werte übereinstimmend und niedrigere Werte als widersprüchlich in Bezug auf die Repräsentativität der Beobachtungen mit dem Modell gelten.

Für das Beispiel in Kapitel 2.2.1 (siehe Tabelle 1) zur Bestimmung der Anziehungskraft einer Veranstaltung sind die Likelihood und die A-Priori-Wahrscheinlichkeit bekannt. Anhand der gegebenen Werte kann nun die Wahrscheinlichkeit der Evidenz berechnet werden:

⁹ Prüfen einer Theorie durch die Suche einer positiven Evidenz. Der Beweis gilt als nicht definitiv.

¹⁰ Prüfen einer Theorie durch die Suche einer negativen Evidenz. Die Theorie gilt als vorerst bestätigt.

$$P_E = P_{E|A_1} \cdot P_{A_1} + P_{E|A_2} \cdot P_{A_2} \quad (6)$$

$$P_E = 0,8 \cdot 0,7 + 0,4 \cdot 0,3 \quad (7)$$

$$P_E = 0,68 \quad (8)$$

Aus diesem Wert lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die Evidenz plausibel, jedoch nicht eindeutig übereinstimmend oder widersprüchlich ist.

2.2.5 A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit

Fließt in das BBN eine Evidenz ein und wird durch den Satz von Bayes verrechnet, so ergibt sich daraus die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit ($P_{A|E}$). Die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit oder auch Posteriori-Wahrscheinlichkeit ist also das Ergebnis des Satz von Bayes, welches aus der Kombination der Evidenz, der A-Priori-Wahrscheinlichkeit und der Likelihood entsteht. Sie ist folglich die aktualisierte Wahrscheinlichkeit, die nach dessen Berechnung weiter im BBN verwendet wird, um die von dieser bedingt abhängigen Wahrscheinlichkeiten zu aktualisieren (Fahrmeir u. a. 2023:218).

Im Beispiel der Veranstaltung (siehe Abbildung 2) ist die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeit, welche sich durch die geschätzte Likelihood des Veranstalters, der A-Priori-Wahrscheinlichkeit vom Wetterdienst und der entsprechenden Evidenz (siehe Kapitel 2.2.4) ergibt. Bei der Veranstaltung sei nun beobachtet worden, dass eine hohe Anziehungskraft (B_1) vorliegt, und es soll rückgeschlossen werden welchen Zustand das Wetter hatte. Entsprechend werden die Werte eingesetzt und folgendes berechnet:

$$P_{A_1|B} = \frac{P_{E|A_1} \cdot P_{A_1}}{P_E} \quad (9)$$

$$P_{A_1|B} = \frac{0,8 \cdot 0,7}{0,68} \quad (10)$$

$$P_{A_1|B} = \frac{0,56}{0,68} \approx 0,8235 \quad (11)$$

Die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit von 0,8235 sagt aus, dass zu 82,35 % gutes Wetter (A_1) vorlag. Daraus kann gefolgert werden, dass zu 17,65 % schlechtes Wetter vorlag.

2.2.6 Inferenz

Die Inferenz ist der Prozess aus vorhandenen Daten und Wahrscheinlichkeiten eine logische Schlussfolgerung abzuleiten. Dazu bedient sich die Inferenz der Wahrscheinlichkeitstheorie (siehe Kapitel 2.2.1) und des Hypothesentests.

Die Inferenz hinsichtlich des BBNs und des Satz von Bayes (siehe Kapitel 3.2.1) ist der Mechanismus, welcher die Aktualisierung des Netzwerkes bewirkt (Fahrmeir u. a. 2023:387). Der Satz

von Bayes ist dabei das Werkzeug, welches die Berechnung ausführt, um die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit zu kalkulieren. Die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit wird daraufhin als A-Priori-Wahrscheinlichkeit für die nachfolgenden abhängigen Ereignisse verwendet. Dadurch kaskadiert die neue Wahrscheinlichkeit durch den gesamten betroffenen Variablenast des BBNs, was folglich deren Aktualisierung hervorruft. Zudem wird dadurch eine Verhältnismäßigkeit aufrechterhalten, die den Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie zugrunde liegt. Ohne diese Verhältnismäßigkeit und Anpassung können die Wahrscheinlichkeiten inkonsistent oder ungenau werden, was die Aussagekraft des Netzwerks beeinträchtigen würde.

Beispiele, welche auf die theoretische Berechnung und den Kaskadeneffekt eingehen, sind in Kapitel 3.2.3 und Anhang I zu finden.

3 Methodenvorstellung

3.1 Methodenabgleich

Um ein Prognoseverfahren zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen zu erstellen, muss eine passende Methode aus der Vielzahl an statistischen Methoden und Modellen herausgefiltert werden. Bevor eine Methode in die nähere Auswahl kommt, müssen die an das Prognoseverfahren gestellten Ansprüche, Funktionen und Eigenschaftenspezifiziert werden.

Das Prognoseverfahren soll so konzipiert sein, dass es anhand von mehreren Variablen, welche auf die $PAX_{\max,t}$ wirken, eine Intervall ausgibt, welches die anzunehmende $PAX_{\max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung prognostiziert. Zudem können diese Variablen durch andere Variablen beeinflusst werden. Aufgrund der geringen Datenmenge, die in diesem Themenfeld zurzeit vorliegt, muss das Verfahren imstande sein, zunächst mit Erfahrungswerten zu arbeiten, die dann anhand von neu erhobenen statistischen Daten ergänzt werden können. Zudem soll das Verfahren hinsichtlich der Variablen ein gewisses Maß an Flexibilität aufweisen, um ggf. weitere Variablen einzubringen oder bestehende zu entfernen. Das Verfahren sollte in der Anwendung möglichst simpel und fehlerunanfällig sein, um auch von Anwendern ohne Fachkenntnisse erfolgreich genutzt werden zu können. Dadurch soll verhindert werden, dass das Verfahren übermäßig komplex oder vereinfacht wird.

In der Statistik gibt es viele unterschiedliche Modelle und Methoden, die sich übergeordnet oder spezifisch einem Ziel entsprechend der Daten nähern. Durch die Definition des Prognoseverfahrens ist eine Vorsortierung der zahlreichen Methoden möglich. Aus der Beschreibung wird ersichtlich, dass ein komplexeres System benötigt wird, das anhand von mehreren Wahrscheinlichkeiten der Variablen eine Prognose erzeugt. Am ausschlaggebendsten ist die Funktion, dass mittels Erfahrungswerte gearbeitet werden soll.

Durch diesen Aspekt rücken die probabilistischen Modelle in den Vordergrund. Durch probabilistische Modelle werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten mittels Wahrscheinlichkeiten weiterer Variablen, dessen Beziehungen zueinander über lineare Beziehungen hinaus gehen, prognostiziert. Dabei werden Unsicherheiten mitberücksichtigt, wodurch fehlende Daten kompensiert werden können. Je nach Variablenanzahl können die Modelle rechenintensiv und komplex sein (Ertel 2016:10 & 78; Jensen 2001:12). Durch die Darstellungsarten der probabilistischen Modelle sind die Zusammenhänge der Beziehungen leicht ersichtlich und überschreiten nicht die Dimensionalität wie andere nicht probabilistische Modelle der Statistik.

Zu den probabilistischen Modellen gehören das BBN, Hidden Markov, Gaussian Mixture sowie Naive Bayes. Zur besseren Differenzierung werden die Modelle nach ihren Eigenschaften kategorisiert, bei denen auch die vordefinierten Attribute des Prognoseverfahrens berücksichtigt werden. Die Ergebnisse wurden in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengefasst:

Tabelle 2: *Methodenabgleich der probabilistischen Modelle*

	Bayesian Belief Network	Hidden Markov	Gaussian Mixture	Naive Bayes
Art der Prognose	Wahrscheinlichkeitsschätzung und Mustererkennung	Zeitreihenanalyse	Wahrscheinlichkeitsschätzung und Clustern	Klassifizieren
Datenarten	Diskret ¹¹ und kontinuierlich ¹²	Zeitreihendaten	Kontinuierlich	Diskret und kontinuierlich
Geringe/fehlende Daten	Robust ¹³	Nicht robust	Nicht robust	Robust
Datenaktualisierung	Möglich	Nicht möglich	Nicht möglich	Möglich
Berücksichtigung von Unsicherheiten	Ja	Ja	Ja	Ja
Variablenanpassung	Hoch	Mittel	Niedrig	Niedrig
Visuelle Darstellung	Ja	Nein	Nein	Ja
Interpretierbarkeit	Hoch	Mittel bis Niedrig	Mittel	Hoch
Rechenkapazität	Mittel	Mittel	Hoch	Niedrig

Hidden Markov kann anhand von Zeitreihenanalysen eine Prognose ermitteln. Mittels Zeitreihenanalysen können beispielsweise Durchschnittswerte eines sich fortlaufenden Zeitraums ermittelt, anhand einer chronologischen Gewichtung der Daten Vorhersagen getroffen oder im Zusammenspiel mit der Fourier-Transformation Muster und Schwankungen identifiziert werden. Zusammengefasst wird die Datendynamik in einem Zeitraum analysiert und anhand dieser Vorhersagen getroffen. Angewendet wird Hidden Markov beispielsweise für die Spracherkennung, Signalverarbeitung oder zur Analyse von biologischen Sequenzen (Zimmermann 2022:16–17, 21–25 & 61). Für das Prognoseverfahren sind die Funktionen des Hidden Markov nicht nötig, und des Weiteren wären große Mengen an Zeitreihendaten benötigt.

Gaussian Mixtures eignen sich ideal für Clusterbildungen, bei denen Übereinstimmungen mit ähnlichen Mustern in Daten erkannt und analysiert werden können. Gaussian Mixtures wird

¹¹ diskret = endlich Anzahl an Werten (bspw. Alter oder Geschlecht).

¹² kontinuierlich = unendlich Anzahl an Werten (bspw. Zeit oder Temperatur).

¹³ Eine Robustheit von Datensätzen liegt vor, wenn sich diese kaum durch Ausreißer oder fehlende Daten beeinflussen lassen.

beispielsweise innerhalb der Spracherkennung für die Vokalerkennung genutzt (Reynolds 2009). Für das Erstellen von Prognosen im Sinne eines Prognoseverfahrens zur Ermittlung $PAX_{\max,t}$ eignet sich diese jedoch nicht. Zudem werden vollständige und größere Datensätze benötigt, damit das Modell robust arbeiten kann.

Naive Bayes stellt ein einfaches Modell zur Klassifizierung dar, welches mittels der visuellen Darstellung gut interpretierbar und nachvollziehbar ist. Das Modell ist imstande, mit geringen Datenmengen umzugehen, die im Nachhinein noch aktualisiert werden können. Naive Bayes wird beispielsweise für das Filtern von E-Mails mittels einer White- und Black-List verwendet. Bei größeren Datenmengen wird das Modell jedoch ineffizient (Ertel 2016:238–241). Das Klassifizieren ist nicht Bestandteil bzw. nötig, um das Prognosemodell zu verwirklichen, und scheidet damit aus.

BBNs können Muster erkennen und Prognosen anhand der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Variablen, die auf die Zielvariable einwirken, ermitteln, während Unsicherheiten berücksichtigt werden. Deshalb müssen die verwendeten Datensätze nicht vollständig und auch nicht im großen Maße vorhanden sein. Die Variablen sind im Netz erweiterbar, und aktuelle Daten können nachgepflegt werden. Die Komplexität ist von der Variablenmenge und der Konstruktion durch den Ersteller abhängig (Ertel 2016:172–173 & 178–179). Das BBN kann als Diagnosemodell für Krankheiten genutzt werden oder zur Analyse von Umweltfaktoren und deren Wechselwirkungen sowie in weiteren Anwendungsbereichen, die zudem auch im Bereich der Künstlichen Intelligenz genutzt werden.

Hidden Markov, Gaussian Mixtures und Naive Bayes eignen sich nicht oder nur bedingt für den Einsatzzweck. Somit stellt das BBN das ideal verfügbare Mittel für das Prognoseverfahren zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf öffentlichen (Groß-) Veranstaltungen dar.

3.2 Bayesian Belief Network

Das BBN, benannt nach Thomas Bayes, ist ein gerichteter azyklischer Graph (siehe Kapitel 3.2.2), der nach dem Prinzip des Satz von Bayes (siehe Kapitel 3.2.1) funktioniert. Durch die Kombination von DAG und dem Satz von Bayes ist es dem BBN möglich, Beziehungen zwischen Variablen logisch darzustellen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu prognostizieren (siehe Kapitel 3.2.3). Des Weiteren gehören zu dem BBN der CPT (siehe Kapitel 3.2.4) und die Sensibilitätsanalyse (siehe Kapitel 3.2.5).

3.2.1 Herleitung des Satz von Bayes

Die Berechnungsgrundlage des BBNs basiert auf dem Satz von Bayes, welcher bereits ansatzweise in Kapitel 2.2.1 beschrieben wurde. Die Grundlagen werden aufgegriffen und anhand der Herleitung tiefergehend beschrieben.

Da der Satz von Bayes bedingte Wahrscheinlichkeiten anhand von Ereignissen beschreibt, kann die Herleitung mit der fundamentalen Regel der abhängigen Wahrscheinlichkeit begonnen werden, die bereits zuvor in der Formel (1) aufgezeigt wurde (Ertel 2016:143; Fahrmeir u. a. 2023:207 & 211; Jensen 2001:12):

$$P_{B|A} = \frac{P_{A \cap B}}{P_A} \quad (1)$$

Stellt man die Formel (1) der bedingten Wahrscheinlichkeit nach der gemeinsamen Wahrscheinlichkeit von A und B ($P_{A \cap B}$) um, ergibt sich (Ertel 2016:144; Fahrmeir u. a. 2023:210; Jensen 2001:12):

$$P_{A \cap B} = P_A \cdot P_{B|A} \quad (12)$$

Diese Formel (12) beschreibt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Ereignis A und B gleichzeitig eintreten, von der Eintrittswahrscheinlichkeit von A multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit von B unter der Voraussetzung des Eintretens von Ereignis A ist. Zur gemeinsamen Wahrscheinlichkeit muss noch ergänzt werden, dass (Fahrmeir u. a. 2023:185 & 210; Jensen 2001:12):

$$P_{A \cap B} = P_{B \cap A} \quad (13)$$

Dabei ist (Fahrmeir u. a. 2023:210; Jensen 2001:12):

$$P_{B \cap A} = P_B \cdot P_{A|B} \quad (14)$$

Diese Gleichwertigkeit ergibt sich aus einer der Regeln der Mengenlehre, die besagt, dass die Schnittmenge die Menge ist, die sowohl A als auch B gemeinsam haben. Dementsprechend ist die Schnittmenge von B und A identisch mit der von A und B (Fahrmeir u. a. 2023:185). Dies verhält sich ähnlich wie bei der Multiplikation, wobei die Reihenfolge keine Auswirkung auf das Ergebnis hat. Voll ausgeschrieben ergibt sich demnach aus Formel (13) mit den Inhalten der Formeln (12) und (14) (Fahrmeir u. a. 2023:210; Jensen 2001:12):

$$P_A \cdot P_{B|A} = P_B \cdot P_{A|B} \quad (15)$$

Stellt man Formel (15) nach der bedingten Wahrscheinlichkeit $P_{B|A}$ um, erhält man den Satz von Bayes (Ertel 2016:146; Fahrmeir u. a. 2023:217; Jensen 2001:12):

$$P_{B|A} = \frac{P_{A|B} \cdot P_B}{P_A} \quad (4)$$

Die Berechnung des Satzes von Bayes besagt, dass die Wahrscheinlichkeit von B bedingt durch das Eintreten von A gleich der Eintrittswahrscheinlichkeit von A multipliziert mit der bedingten Wahrscheinlichkeit von A, unter der Berücksichtigung des Eintretens von B dividiert durch die Eintrittswahrscheinlichkeit von A ist.

Oder anhand der Theoreme des Satz von Bayes (siehe Abbildung 3) ausgedrückt: Der Satz von Bayes berechnet anhand der A-Priori-Wahrscheinlichkeit, Likelihood und Evidenz die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit, die dazu verwendet wird, die Wahrscheinlichkeiten im BBN zu aktualisieren. Dazu wird die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit zur A-Priori-Wahrscheinlichkeit der Berechnung des nachfolgenden Ereignisses.

Damit die berechneten Wahrscheinlichkeiten in sich konsistent sind, müssen diese im Verhältnis zueinander stehen. Dies wird dadurch gewährleistet, dass die Berechnung der Evidenz anhand der totalen Wahrscheinlichkeit die Summe über alle möglichen Ereignisse berücksichtigt. Zur Herleitung der totalen Wahrscheinlichkeit werden zunächst zwei binären Ereignisse mit den Zuständen Ja oder Nein betrachtet (Charniak 1991:55; Ertel 2016:149; Fahrmeir u. a. 2023:145):

$$P_A = P_{A \cap B} + P_{A \cap \neg B} \quad (16)$$

$$P_A = P_{A|B} \cdot P_B + P_{A|\neg B} \cdot P_{\neg B} \quad (17)$$

Formel (16) beschreibt, dass die Wahrscheinlichkeit der Evidenz die Summe der gemeinsamen Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignis A und B bzw. nicht gegebenen B ($\neg B$) ist.

Formel (17) beschreibt die gleiche Wahrscheinlichkeit wie Formel (16), nur mit eingesetzter bedingter Wahrscheinlichkeit (siehe Formel (14)).

Durch Einsetzen der Formel (17) in den Satz von Bayes (siehe Formel (4)) erhält man folglich die binäre Form des Satz von Bayes (Charniak 1991:55):

$$P_{B|A} = \frac{P_{A|B} \cdot P_B}{P_{A|B} \cdot P_B + P_{A|\neg B} \cdot P_{\neg B}} \quad (18)$$

Da jedoch auch beliebig viele voneinander unabhängige Zustände P_{B_i} auf P_A einwirken können, kann die Berechnung der totalen Wahrscheinlichkeit als Summe, wie bereits in Formel (2), dargestellt werden (Fahrmeir u. a. 2023:215 & 217; Jensen 2001:14–15):

$$P_A = \sum_i P_{A|B_i} \cdot P_{B_i} \quad (2)$$

Nach der Formel (2) ist die Evidenz, ähnlich wie in Formel (16), die Summe aller möglichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignis A und B bzw. nicht gegebenen B. Der Teil der unbekannt Wahrscheinlichkeiten von B (P_{-B}) wird nicht extra angegeben, da diese bereits in allen möglichen Eintrittswahrscheinlichkeiten (P_{B_i}) inkludiert ist.

Eingesetzt in den Satz von Bayes (siehe Formel(4)) ergibt sich (Fahrmeir u. a. 2023:217):

$$P_{B_i|A} = \frac{P_{A|B_i} \cdot P_{B_i}}{\sum_i P_{A|B_i} \cdot P_{B_i}} \quad (19)$$

Mit Formel (19) erhält man den Satz von Bayes in der totalen Form. Diese zeigt, welche Wahrscheinlichkeit der Zustände P_{B_i} unter der Bedingung, dass A beobachtet wurde, wiedergibt. Sie ermöglicht es, die Eintrittswahrscheinlichkeiten einer Variablen anhand der zuvor angenommenen, bedingten Wahrscheinlichkeiten zu skalieren und bei Änderungen der Evidenz die Wahrscheinlichkeit entsprechend zu aktualisieren.

3.2.2 Visuelle Bestandteile

In der Graphentheorie gibt es viele Graphen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Dazu zählt der ungerichtet zyklische Graph, der gerichtet zyklische Graph, der ungerichtet azyklische Graph sowie der gerichtet azyklische Graph, die untereinander noch in Graphen mit singulären oder multiplen Kanten aufgeteilt werden können (siehe Abbildung 4). Der DAG in seiner singulären Form (siehe Abbildung 4, 4a) wird dabei zur Visualisierung des BBNs verwendet, da dieser die Verbindungseigenschaften aufweist, die durch das BBN vorgegeben werden. Mit gerichtet ist im DAG die Beziehungseigenschaft zwischen zwei Knoten gemeint, die entsprechend in eine Richtung, ohne Wechselwirkung aufeinander, weist. Innerhalb des Graphen liegen zudem keine zyklischen Abhängigkeiten vor. Dies bedeutet, dass eine Verkettung von Knoten nicht wieder auf sich selbst schließt (Ertel 2016:184; Jensen 2001:19).

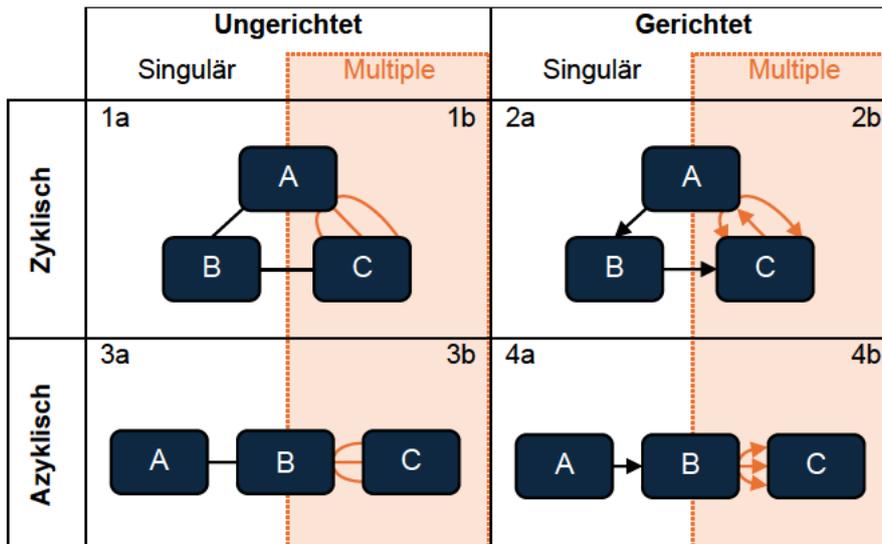


Abbildung 4: Unterschiedliche Graphenarten

Die Knoten stellen in dem Graphen die Variablen, wie beispielsweise EF oder die Zielvariable, dar. Die Variablen können in Eltern- und Kinderknoten unterteilt werden (siehe Abbildung 5). Kinderknoten entspringen aus den ihr übergeordneten Elternknoten. Variablen, denen keine Elternknoten vorliegen, werden als Ursprungsknoten bezeichnet (Charniak 1991:51).

Die Kanten sind die (gerichteten und azyklischen) Verbindungsstücke zwischen den Knoten und stellen die probabilistische Abhängigkeit zwischen diesen dar. Die Kanten können dabei d-Verbunden oder d-Unverbunden sein (Jensen 2001:6). Damit wird festgestellt, ob bei einer gegebenen Evidenz die Beziehung zwischen zwei Variablen abhängig oder unabhängig voneinander ist. Die d-verbundenen Variablen lassen sich entsprechend nicht durch eine Evidenz blockieren, während bei d-unverbundenen Variablen eine Blockierung zwischen den Abhängigkeiten hervorgerufen wird (Charniak 1991:54–55; Jensen 2001:10–11).

Die Verbindungen lassen sich zudem noch in serielle, divergente und konvergente Verbindungsarten aufteilen:

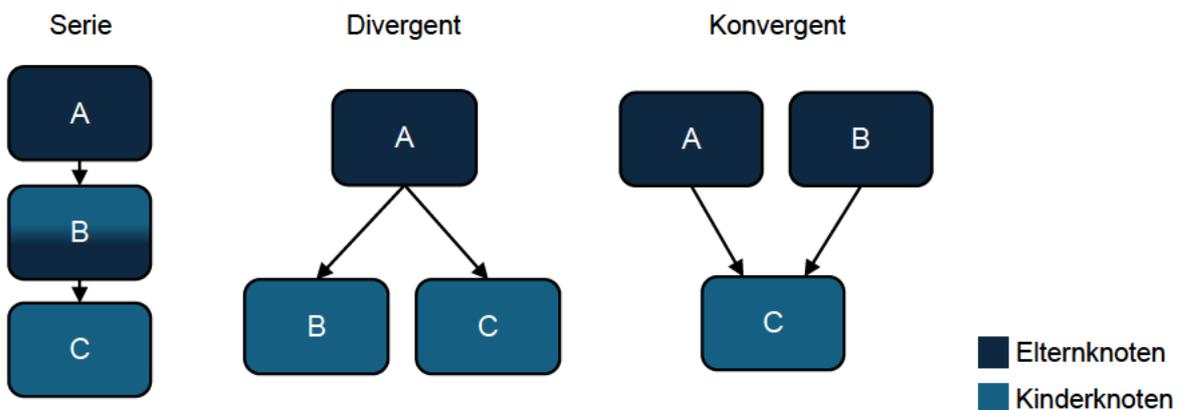


Abbildung 5: Beziehungsvarianten der Knoten und Kanten (in Anlehnung an Charniak 1991: 54; Ertel 2016: 182)

Knoten in Serie sind entsprechend aufeinanderfolgende Knoten, wie aus Abbildung 5 zu ersehen. Dabei erfolgt gerichtet ein Einfluss von Variable A auf B und von B wiederum auf C. Entsprechend ist der Elternknoten von B gleich A, und gleichzeitig ist B der Elternknoten für C. Es kann also vorkommen, dass ein Knoten beide Rollen – die des Elternteils und des Kindes – unabhängig voneinander einnehmen kann (Jensen 2001:6).

Die divergente Beziehungsvariante weist einen Elternknoten, Variable A, mit zwei Kinderknoten, B und C, auf. Dies bedeutet, dass der Zustand von A sowohl Einfluss auf Variable B wie auch auf C hat (Jensen 2001:7).

Bei der konvergenten Beziehung wirken mindestens zwei Variablen auf eine andere ein. Wie in der Abbildung 5 verdeutlicht, wirken A und B unabhängig voneinander auf C ein. A und B sind die Elternknoten, und entsprechend ist C deren Kinderknoten (Jensen 2001:7–8).

Zusammengefasst verbildlicht das DAG durch die Kanten und Knoten die Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Variablen im BBN. Dabei sind die Beziehungen nicht zwingend kausal oder zeitlich zusammenhängend modelliert. Sind die Beziehungen erst einmal modelliert, kann nach der Festsetzung der Evidenzen die Wahrscheinlichkeiten der unbekanntenen Knoten berechnet werden. Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten oder Analyse der Wahrscheinlichkeiten ist das DAG nicht fähig, dazu bedingt es die rechnerischen Bestandteile des BBNs sowie die CPTs.

3.2.3 Rechnerische Bestandteile

Der im Kapitel 3.2.1 hergeleitete Satz von Bayes nimmt je nach Art der Beziehung (siehe Abbildung 5) und Anzahl der Variablen eine komplexere Form an, welche den Rechenaufwand des BBNs steigert. Hierzu wird als Beispiel ein Teilausschnittes eines BBNs illustriert, dass ein Wetterphänomen, die Entstehung von Schnee, mittels einer konvergenten Beziehung aufgestellt. Diese Beziehungsart eignet sich am besten, um die Komplexität am deutlichsten aufzuweisen (siehe Abbildung 6). Im Anhang I werden der Vollständigkeit halber Beispiele weiterer Ausschnitte eines BBNs für die seriellen und divergenten Beziehungen abgebildet und beschrieben.

Schnee entsteht durch das Gefrieren von Wassermolekülen, die an Aerosolen geheftet sind. Dazu muss die Luftfeuchtigkeit ausreichend hoch sein und die Lufttemperatur niedrig genug, damit genügend Wassermoleküle vorhanden sind, die dann zu gefrieren beginnen und sich anschließend bedingt durch die Erdanziehungskraft niederlassen.

Für die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur, gibt es ähnlich wie bei dem Beispiel der seriellen oder divergenten Beziehung (siehe Anhang I) jeweils eine spezifische Evidenz, welche es im System zu berücksichtigen gilt. Hierzu wird der Satz von Bayes auf die Variablen A und B, für

die Evidenzen vorliegen, angewandt, und die beiden A-Posteriori-Wahrscheinlichkeiten werden in C eingebunden.

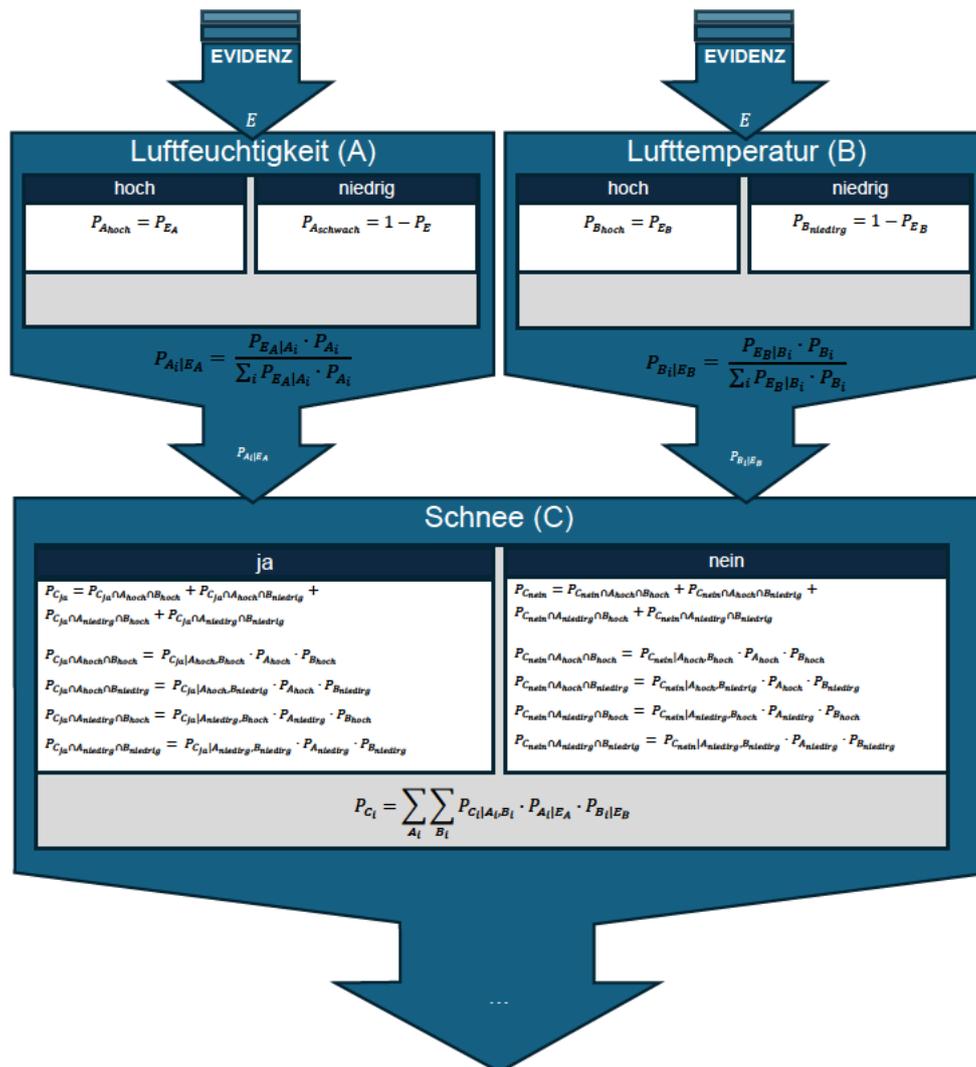


Abbildung 6: Beispiel-BBN einer konvergenten Beziehung

Die Wahrscheinlichkeiten von Schnee (P_{Cja} und P_{Cnein}) werden gleichzeitig durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten der Luftfeuchtigkeit (P_{Ahoch} und $P_{Aniedrig}$) und der Lufttemperatur (P_{Bhoch} und $P_{Bniedrig}$) beeinflusst. Die Verkettung wird in diesem Beispiel schon länger als bei den anderen beiden Beziehungsarten (siehe Anhang I), was sich an den Wahrscheinlichkeiten der Zustände erkennen lässt. Die Verkettung kann vereinfacht in einer Formel über Summen, wie in Variable C (Schnee) zu sehen, dargestellt werden.

In diesem Beziehungsverhältnis können bei dem Wissensstand nur über A, aber nicht über den Zustand von B Rückschlüsse gezogen werden. Andersherum gilt Gleiches: Aus dem Wissen über B können keine Erkenntnisse über A erschlossen werden. Zwischen A und B liegt entsprechend eine d-Unverbundenheit vor. Wenn jedoch C evident ist, sind A und B d-verbunden. Entsprechend können sowohl Rückschlüsse über C für A und B getroffen werden (Charniak 1991:54–55; Jensen 2001:7–8).

Im Nachfolgenden wird aufgezeigt, wie durch eine Vereinfachung die Rechenkomplexität verringert werden kann. Bei einem längeren Variablenast mit unendlich vielen (n) Variablen (X) kann die Verkettung verallgemeinert werden. Dazu wird die Formel (12) der bedingten Wahrscheinlichkeit aufgelöst, nach $P_{A \cap B}$ herangezogen und in den Kontext der Variable X_n gebracht (Ertel 2016:144; Fahrmeir u. a. 2023:210; Jensen 2001:12):

$$P_{A \cap B} = P_{A|B} \cdot P_B \quad (12)$$

$$P_{X_1 \cap X_n} = P_{X_1|X_n} \cdot P_{X_n} \quad (20)$$

Formel (20) beschreibt entsprechend, dass die gemeinsame Wahrscheinlichkeit einer Variable mit der von einer der unendlichen Variablen gleich der Wahrscheinlichkeit der Variable in Abhängigkeit von einer der unendlichen Variablen multipliziert mit der Eintrittswahrscheinlichkeit einer der unendlichen Variablen ist.

Die Formel (20) wird wiederholt angewandt (Ertel 2016:144):

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_n} = P_{X_n|X_1, X_2, \dots, X_{n-1}} \cdot P_{X_1, X_2, \dots, X_{n-1}} \quad (21)$$

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_n} = P_{X_n|X_1, X_2, \dots, X_{n-1}} \cdot P_{X_{n-1}|X_1, X_2, \dots, X_{n-2}} \cdot P_{X_1, X_2, \dots, X_{n-2}} \quad (22)$$

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_n} = P_{X_n|X_1, X_2, \dots, X_{n-1}} \cdot P_{X_{n-1}|X_1, X_2, \dots, X_{n-2}} \cdot \dots \cdot P_{X_2|X_1} \cdot P_{X_1} \quad (23)$$

Die Formeln (21), (22) und (23) zeigen, dass jede gemeinsame Wahrscheinlichkeit in eine Folge von bedingten Wahrscheinlichkeiten zerlegt werden kann, wodurch die Komplexität entsteht.

Durch die Kettenregel ergibt sich als vereinfachte Darstellung (Ertel 2016:144 & 183):

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_n} = \prod_{i=1}^n P_{X_i|X_1, X_2, \dots, X_{i-1}} \quad (24)$$

Übersetzt in den Raum der Eltern- und Kindervariablen erschließt sich Folgendes (Ertel 2016:183; Jensen 2001:21):

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_n} = \prod_{i=1}^n P_{X_i|Eltern_{X_i}} \quad (25)$$

Die Formeln (24) und (25) stellen eine Vereinfachung der Berechnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten dar. Durch diese ist es dem BBN möglich, die Wahrscheinlichkeiten effizient zu berechnen und Rechenkapazitäten zu schonen.

3.2.4 Conditional Probability Table

Ein CPT beinhaltet die bedingten Wahrscheinlichkeiten in tabellarischer Form. Dabei sind die im CPT definierten bedingten Wahrscheinlichkeiten der Knoten, die entscheidenden Werte für die Berechnungen im BBN. Diese werden in der weiteren Bearbeitung des BBNs zur Prognose der $PAX_{\max,t}$ anhand von annahmebasierten Aussagen festgelegt (siehe Kapitel 4.2.2). Durch die CPTs sind zudem die bedingten Wahrscheinlichkeiten besser im Gesamtüberblick über die in einem BBN verketteten Wahrscheinlichkeiten ersichtlich. Hierbei ist zu beachten, dass die Summe der Wahrscheinlichkeiten immer 1 ergeben muss, da sonst unvollständige Daten vorliegen (Ertel 2016:141.142 & 173–174; Fahrmeir u. a. 2023:187–188; Jensen 2001:11–12). Ein theoretischer CPT über die bedingte Wahrscheinlichkeit würde entsprechend wie folgt aussehen:

Tabelle 3: Theoretischer CPT über die Likelihood

	A ₁	A ₂
B ₁	$P_{B_1 A_1}$	$P_{B_1 A_2}$
B ₂	$P_{B_2 A_1}$	$P_{B_2 A_2}$
Σ	1	1

Ein vordefinierter CPT ist in Kapitel 2.2.1 in Tabelle 1 anhand des Beispiels der Anziehungskraft einer Veranstaltung dargestellt. Zudem sind in Kapitel 4.2.2 die CPTs für das BBN zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen definiert.

Des Weiteren werden in einem BBN die gemeinsamen Wahrscheinlichkeiten ($P_{A \cap B}$), welche nach Formel (12) berechnet werden, mit angezeigt. Diese dienen als Zwischenschritt zur Berechnung der totalen Wahrscheinlichkeit sowie der Validierung, dass die Wahrscheinlichkeiten in dem Netzwerk konsistent sind.

Tabelle 4: Theoretischer CPT über die gemeinsame Wahrscheinlichkeit

A	B	$P_{A_i \cap B_i}$
A ₁	B ₁	$P_{B_1 A_1} \cdot P_{A_1}$
A ₁	B ₂	$P_{B_2 A_1} \cdot P_{A_1}$
A ₂	B ₂	$P_{B_2 A_2} \cdot P_{A_2}$
A ₂	B ₁	$P_{B_1 A_2} \cdot P_{A_2}$

Für das zuvor erwähnte Beispiel der Anziehungskraft einer Veranstaltung (siehe Kapitel 2.2.1 Tabelle 1) würde sich folgende CPT für die gemeinsamen Wahrscheinlichkeiten ergeben:

Tabelle 5: CPT der gemeinsamen Wahrscheinlichkeit der Anziehungskraft der Beispielveranstaltung

A	B	$P_{A_i \cap B_i}$
A ₁	B ₁	0,48
A ₁	B ₂	0,12
A ₂	B ₂	0,24
A ₂	B ₁	0,16

Aus den Ergebnissen kann zum einen geschlossen werden, wie hoch die gemeinsame Wahrscheinlichkeit eines Zustandes von A mit einem Zustand von B ist. Aus der zweiten Zeile geht beispielsweise hervor, dass die Wahrscheinlichkeit, eine hohe Anziehungskraft und gleichzeitig gutes Wetter zu haben, bei 48 % liegt. Die dritte Zeile besagt entsprechend, dass die Wahrscheinlichkeit für sowohl gutes Wetter als auch eine geringe Anziehungskraft bei 12 % liegt. Als zweiten Aspekt kann man in der Summe erkennen, dass alle gemeinsamen Wahrscheinlichkeiten 1 ergeben. Dies spricht dafür, dass die Wahrscheinlichkeiten in sich konsistent und vollständig sind.

3.2.5 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse ist ein Verfahren, mit dem untersucht wird, wie empfindlich die Wahrscheinlichkeiten auf Änderungen eines Parameters (Evidenz oder Likelihood) reagieren. Dadurch können kritische Variablen und Wahrscheinlichkeiten identifiziert werden, welche den größten oder geringsten Einfluss auf das Ergebnis haben. Das Verfahren sieht so aus, dass die beeinflussende Variable (A) von der abhängigen Variable (B) verändert wird, wobei beobachtet wird, wie sich die Wahrscheinlichkeit von B ändert (Jensen 2001:72 & 219–221). Wird ein signifikanter Einfluss festgestellt, dann sollten diese Wahrscheinlichkeiten und Variablen beobachtet und ggf. durch genaueres Messen oder Schätzen angepasst werden. Ein signifikanter Einfluss wird am Ausmaß der Veränderung erkennbar. Ist die Änderung der abhängigen Variable (B) proportional oder überproportional zu der Anpassung der Parameter der Variable (A), so ist der Einfluss von A als sensitiv anzusehen. Ist die Änderung hingegen geringfügig, ist die Bedeutung dieser Variable für das Modell gering. Die Sensitivitätsanalyse lässt entsprechend erkennen, wie robust und zuverlässig das Netzwerk ist, und kann resultierend aus den Beobachtungen eine Verbesserung der Eigenschaften bewirken.

Das Vorgehen der Sensitivitätsanalyse kann dabei je nach Art dieser variieren, das Prinzip bleibt jedoch das gleiche. Es wird zwischen der Einzelparameter-, der Multiparameter-, Evidenz-Sensitivitätsanalyse und weiteren unterschieden. Bei der Einzelparameter-Sensitivitätsanalyse wird ein einzelner Parameter verändert, während alle anderen Werte konstant

bleiben. Anschließend wird analysiert, wie sich diese Änderung auf die Zielvariable auswirkt. Dies kann schrittweise oder direkt erfolgen oder anhand eines festgelegten Schwellenwertes. Die Multiparameter-Sensitivitätsanalyse betrachtet hingegen gleichzeitig mehrere Parameter. Dadurch können Wechselwirkungen zwischen den Variablen analysiert werden, um zu verstehen, ob bestimmte Kombinationen von Änderungen eine stärkere Wirkung auf die Zielvariable haben als isolierte Anpassungen. Bei der Evidenz-Sensitivitätsanalyse werden die Evidenzen bestimmter EF gezielt verändert, um deren maximale Wirkung auf die Zielvariable zu untersuchen. Dabei werden die Evidenzen häufig auf ihr höchstmöglichstes Potenzial (100 %) gesetzt, um zu prüfen, wie stark sich die Zielvariable unter idealen Bedingungen verändert.

Als Beispiel erfolgt in Kapitel 4.2.4 eine Sensitivitätsanalyse.

4 Methodenanwendung

4.1 Einflussfaktoren auf die Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden

Um die relevanten EF auf die $PAX_{max,t}$ zu identifizieren, wird in zwei Schritten vorgegangen:

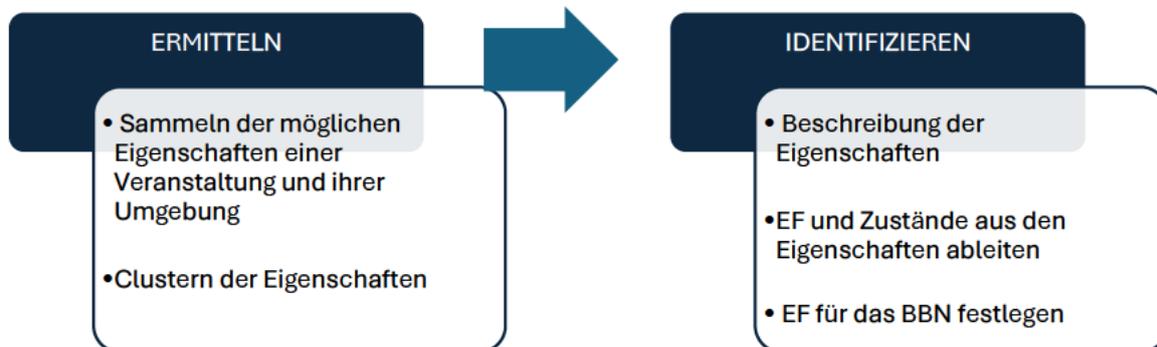


Abbildung 7: Vorgehen zur Identifizierung der Einflussfaktoren

Die $PAX_{max,t}$ setzt sich aus der grundlegenden Anzahl an zeitgleich anwesenden Besuchenden in Kombination zu dem Zeitpunkt, an dem diese Anzahl aufgrund der Anziehungskraft einer Veranstaltung am größten, heißt maximal ist, zusammen. Aufgrund dessen müssen sowohl die EFs identifiziert werden, welche die Anzahl an zeitgleich anwesenden Besuchenden ausdrückt, als auch diejenigen, die das Maximum darstellen. Hierzu werden zunächst alle Eigenschaften einer Veranstaltung und ihrer Umgebung möglichst gesamtheitlich ermittelt und geclustert. Durch diese Vorgehensweise soll verhindert werden, dass ein möglicher EF übersehen wird. Bei der eigentlichen Identifikation werden die Eigenschaften hinsichtlich eines möglichen indirekten oder direkten Einflusses auf die $PAX_{max,t}$ einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung untersucht. Zudem werden die Zustände dieser EF für den ersten Prototypen des BBNs festgelegt. Mit dem Outcome dieses Verfahrens wird dann in Kapitel 4.2 das BBN erstellt.

4.1.1 Ermittlung der Eigenschaften einer Veranstaltung

Die EF auf die $PAX_{max,t}$ einer (Groß-)Veranstaltung können anhand einer ersten Betrachtung der Gesamtheit der Eigenschaften einer Veranstaltung und derer Umgebung rückgeschlossen werden. Des Weiteren sollten bereits bestehende Methoden und weitere Literatur, welche Schnittpunkte mit Veranstaltungen aufweisen, herangezogen werden. Durch diese Kombination soll ein möglichst umfangreiches und vollständiges Bild der EF eingefangen werden.

Die Betrachtung der Gesamtheit einer Veranstaltung wird bereits in einigen Leitfäden zur Veranstaltungssicherheit annähernd vorgenommen. Darunter zählt die bereits verwendete Literatur aus Kapitel 2.1.2, welcher die nachfolgend aufgelisteten Eigenschaften entnommen werden

konnten (Hessisches Ministerium des Innern und für Sport 2013:8; Bachmeier u. a. 2015:16–17 & 30–31; Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2021:15–16):

- Anzahl der zu erwartenden Besuchenden/Teilnehmenden
- Zusammensetzung der Besuchenden (Alter, Soziologie, Konfliktpotenzial etc.)
- Veranstaltungsart (offen oder geschlossen)
- Veranstaltungsort (Lage, Umgebung, Indoor, Outdoor)
- Programmpunkte
- Infrastruktur des Veranstaltungsortes (Mobilitätsangebote)
- Uhrzeit (Dauer, Nachtzeiten)
- Zu erwartende Umwelt- und Wettereinflüsse
- Gleichzeitig stattfindende Veranstaltungen
- Besondere Bedeutung der Veranstaltung (regional, bundesweit oder international)
- mediale Aufmerksamkeit

Als Methode mit Praxisbezug zu Veranstaltungen wird die Bedarfsplanung des Sanitätswachdienstes hinzugezogen. Hierbei handelt es sich um das Maurer-Schema, das Münchner und das Berliner Modell sowie um den Kölner Algorithmus. Als Stand der Technik werden am häufigsten das Maurer-Schema und der Kölner Algorithmus zur Bedarfsplanung des Sanitätswachdienstes auf Veranstaltungen genutzt. Die verschiedenen Herangehensweisen zur Ermittlung des Sanitätswachdienstes beziehen jede für sich unterschiedliche Eigenschaften von Veranstaltungen unter eigener Gewichtung ein. Folgende Eigenschaften ließen sich aus den Methoden ableiten (Gerlach u. a. 2014:183–184, 186–189 & 192; Bachmeier u. a. 2015:39–47; Sakschewski u. a. 2019:14–15; Schmidt 2010:420–424):

- Gleichzeitig anwesende Besuchende
- Art der Veranstaltung (Ausstellungen, Basar, Flohmarkt, Messe, Rockkonzerte etc.)
- Veranstaltungsdauer
- Veranstaltungsort (Indoor oder Outdoor, Flächenkapazität)
- Publikum (Konfliktpotenzial)
- Wetter
- Riskantes Veranstaltungsprogramm
- Teilnahme von VIPs

Als weitere Anhaltspunkte der Eigenschaften einer Veranstaltung kann das Typisierungssformular für Veranstaltungen herangezogen werden (Sakschewski u. a. 2019:66–68):

- Anzahl der zu erwartenden Besuchenden

- Besuchende (sozial und demografisch)
- Anfahrtswege
- Veranstaltungsdauer (eintägig, mehrtägig)
- Ort (Indoor, Outdoor, rural, urban)
- Gestalt (Rechteck, Arena, Vieleck etc.)
- Art (Musik, Sport, Fest etc.)

Vergleicht man die herausgearbeiteten Eigenschaften der unterschiedlichen Quellen, so wird ersichtlich, dass sich diese größtenteils wiederholen und vereinzelt gesonderte Punkte erwähnt werden. Bei den sich wiederholenden Eigenschaften wird sich teilweise auf unterschiedliche Aspekte bezogen. Die Eigenschaften einer Veranstaltung und ihrer Umgebung können inhaltlich vereinheitlicht und in Kategorien untergeordnet werden. Die Aufteilung der gesamten Eigenschaften in die Kategorien sowie die zu den Eigenschaften zugehörigen Ausprägungen sind im Anhang II aufgeführt. Aufgrund des vielfältigen Charakters und der Interdisziplinarität von Veranstaltungen können die Eigenschaften und dessen Ausprägungen noch dezidierter zerlegt werden. Hiervon wird jedoch abgesehen, da hinsichtlich der Thematik dieser Bachelorarbeit mit einer Reduzierung und Vereinfachung der Faktoren gerechnet werden kann.

4.1.2 Identifizierung der Einflussfaktoren auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen

Die in dem vorgängigen Kapitel genannten Eigenschaften und die im Anhang II kategorisierten Eigenschaften müssen auf ihre Anwendbarkeit als EFs auf die $PAX_{max,t}$ auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen geprüft werden. Da es kaum evidenzbasierten Daten zu den Wechselwirkungen und Einflüssen der Eigenschaften einer Veranstaltung bzw. zu den EFs der $PAX_{max,t}$ gibt, werden im Nachfolgenden annahmebasierte Aussagen getroffen. Dazu werden Überlegungen hinsichtlich eines kausalen Zusammenhangs angestellt und überdacht, ob die Eigenschaft und deren Ausprägungen vereinfacht oder ggf. sogar weiter zusammengefasst werden können. Dabei erfolgt die Ausrichtung nach der Beschreibung der öffentlichen (Groß-)Veranstaltung (siehe Kapitel 2.1.1 und 2.1.2) sowie der $PAX_{max,t}$ (siehe Kapitel 2.1.3).

Eine Zusammenfassung der nachfolgend ausgewählten EFs und derer Ausprägungen sind im Anhang III zu finden.

Kategorie 1: Art

Eigenschaft 1.1: Veranstaltungsart

Die Veranstaltungsart beschreibt, um welchen Typen mit welchen voraussichtlichen Programminhalten es sich bei der Veranstaltung handelt. Aufgrund der Veranstaltungsart kann davon ausgegangen werden, dass ein kausaler Zusammenhang und damit ein Einfluss auf die Zielvariable, die $PAX_{max,t}$, vorliegt. In einem theoretischen Vergleich von zwei Veranstaltungen unterschiedlicher Art, die zu denselben Konditionen stattfinden, wäre absehbar, dass die $PAX_{max,t}$ einen unterschiedlichen Wert hätten. Als Grund dafür wäre denkbar, dass das Interesse an bestimmten Arten von Veranstaltungen generell je nach demografischem Stand unterschiedlich ist.

Die Zustände der Art der Veranstaltung, welche aus dem Anhang II entnommen werden können, werden hinsichtlich der Aspekte einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung eingegrenzt. Dabei entfallen die Motorsport-, Flugsport-, Betriebs- und Messeveranstaltungen, da diesen Veranstaltungen häufig der öffentliche Aspekt fehlt, aufgrund des Ticketings oder des privaten Charakters einer Veranstaltung. Auch die Demonstrationen entfallen, da diese eher einer Versammlung mit dem Zweck der Ausübung des Meinungsrechts als einer Veranstaltung gleicht. Der Übersicht halber wurden in dem ersten Prototyp des BBNs die Überbegriffe Markt, Sport und Fest gewählt (siehe Anhang III). Im weiteren Prozess der Fertigung der Prognosemethode könnten die Zustände wieder dezidierter betrachtet werden.

Eigenschaft 1.2: Programm

Das Veranstaltungsprogramm kann Elemente enthalten, welche sich nach der Art der Veranstaltung richten, oder solche, welche die Veranstaltung ergänzen, um weitere Besuchende anzuziehen. Die Inhalte des Programms, welche veranstaltungsartspezifisch sind, können bereits durch die Veranstaltungsart selbst repräsentiert werden. Die abweichenden Programmpunkte zu der Art einer Veranstaltung können jedoch nicht durch die Veranstaltungsart oder andere EFs wie den gesellschaftlichen Stellenwert beschrieben werden. Durch das zusätzliche Programm kann die Anziehungskraft einer Veranstaltung um den Zeitpunkt des Programmpunktes auf eine breitere Masse wirken, da neben der eigentlichen Zielgruppe auch eine zusätzliche Personengruppe angesprochen wird. Beispielsweise gibt es eine Veranstaltung von der Art eines Flohmarktes, auf dem als Programmpunkt eine Metalband auftritt (siehe Abbildung 8).

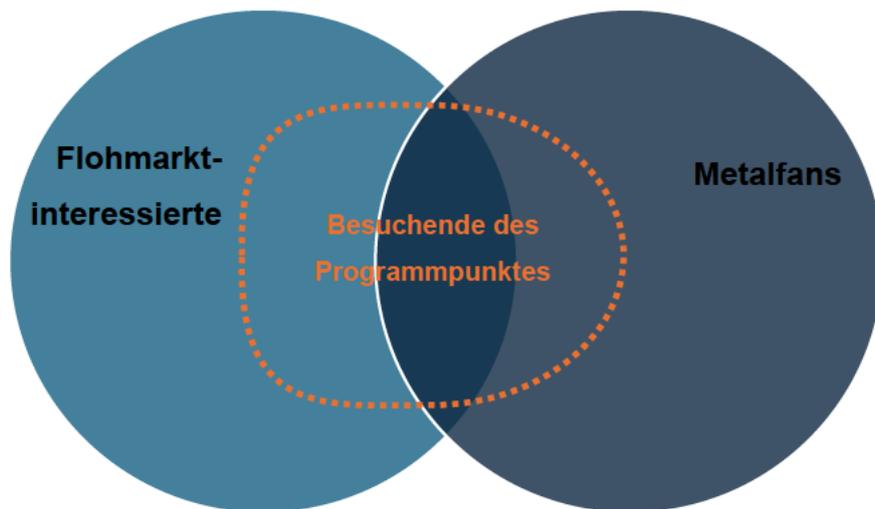


Abbildung 8: *Theoretische Schnittmenge der Personengruppen bei einem von der Veranstaltungsart abweichenden Programmpunkt*

Entsprechend der Abbildung 8 werden zum Zeitpunkt des Auftritts der Metalband die generellen Flohmarktinteressierten erwartet sowie Metalfans. Diese Vereinigung von Personen sind die Besuchenden des Veranstaltungsprogrammpunktes.

Die Zustände des Programms werden für das BBN in entsprechend, widersprechend und kein Programm unterteilt (siehe Anhang III).

Eigenschaft 1.3: Parallelveranstaltung

Bei der Parallelveranstaltung handelt es sich um eine oder mehrere Veranstaltungen die zusätzlich zur eigentlichen Veranstaltung im selben Zeitraum in der Umgebung stattfinden. Diese Veranstaltungen können sich gegenseitig sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Findet beispielsweise eine Veranstaltung mit ähnlichem oder gleichem Charakter statt, können sich die betreffenden Besuchenden auf diese (un-/gleichmäßig) aufteilen. Sollte eine der Veranstaltungen dabei früher enden als die andere, kann zudem ein Überlauf der Besuchenden stattfinden. Da diese Wechselwirkungen zwischen Veranstaltungen nicht zu vernachlässigen sind, sollte die Parallelveranstaltung als eigenständiger EF mit den zugehörigen Zuständen (siehe Anhang III) in das BBN aufgenommen werden.

Kategorie 2: Zeitraum

Eigenschaft 2.1: Dauer bzw. zeitliche Limitierung

Die Dauer einer Veranstaltung kann mehrere Stunden, Tage, Wochen oder Monate andauern. Die Dauer einer Veranstaltung, ohne weitere äußere Einflüsse, kann Aufschluss über die Verteilung der Besuchenden auf einer Veranstaltung geben. Eine zeitliche Limitierung kann in zwei Richtungen wirken: Entweder wird die Ballung von Besuchenden erhöht oder verzerrt. Würde man den reinen Zeitanatz zweier Veranstaltungen A und B mit demselben

kontinuierlichen Programm betrachten, ohne die Tagesart oder -zeit zu berücksichtigen, so würden diese eine gleiche Anziehungskraft aufweisen. Bedingt durch die gleiche Anziehungskraft dürften auf Veranstaltung A und B die gleiche Anzahl an Besuchenden insgesamt erscheinen. Durch die unterschiedliche zeitliche Limitierung der Veranstaltungen weicht die Ballung der Besuchenden jedoch voneinander ab (siehe Abbildung 9).

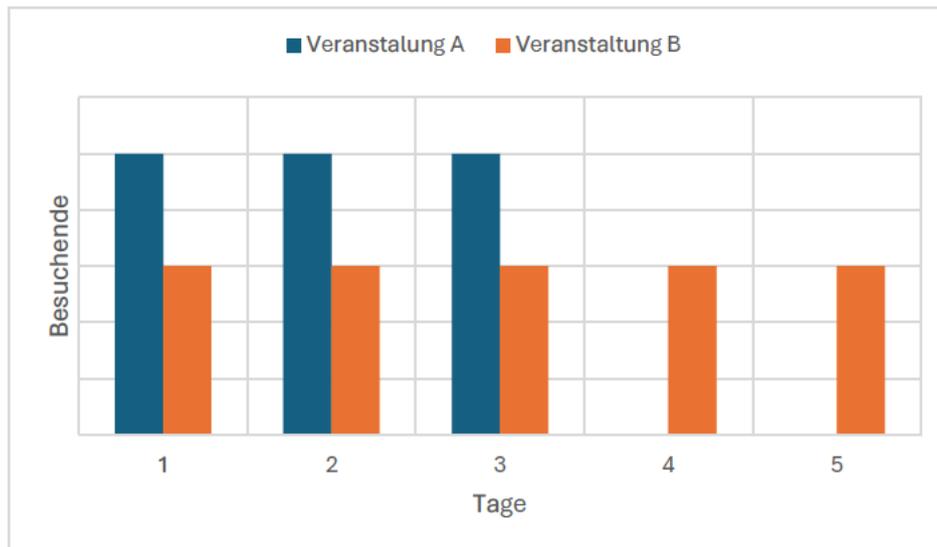


Abbildung 9: Theoretische Verteilung der Anzahl der Besuchenden bei unterschiedlicher Veranstaltungsdauer

Zwar weisen die beiden Veranstaltungen die gleiche Anzahl an Besuchenden auf, jedoch haben diese aufgrund der unterschiedlichen Limitierungen nicht die gleiche $PAX_{max,t}$. Die Dauer einer Veranstaltung ist aber kein direktes Indiz für die Bestimmung der $PAX_{max,t}$. In Verbindung mit der Veranstaltungsart und dem Programm wäre es jedoch möglich, die Verteilung in Relation zu setzen. Aufgrund dessen wird die Dauer als weiterer EF mit der Bezeichnung zeitliche Limitierung in das BBN aufgenommen (siehe Anhang III).

Eigenschaft 2.2: Tagesart

Die Tagesart beschreibt, ob es sich bei dem Tag um einen Werk-, Wochenend¹⁴, Feier- oder Ferientag handelt. Betrachtet man die eben beschriebenen möglichen Zustände der Tagesart, kann aus diesen geschlossen werden, dass je nach Ausartung die Verfügbarkeit der Freizeit von Menschen variiert (siehe Abbildung 10). Die Tagesart nimmt damit keinen direkten Einfluss auf die Anziehungskraft einer Veranstaltung, aber auf dessen Kompatibilität mit der verfügbaren Freizeit. Aufgrund dieser Eigenschaft wird die Tagesart mit in die Betrachtung aufgenommen (siehe Anhang III).

¹⁴ In dieser Betrachtungsweise wird der Samstag, der laut § 3 Bundesurlaubsgesetz als ein Werktag gilt, mit in das Wochenende gezählt. Dies wird damit begründet, dass es sich hierbei nicht um eine arbeitnehmerische Betrachtungsweise handelt. Die Benennung nach Arbeitstag und arbeitsfreiem Tag wird hier zudem auch vermieden, da diesem ein individueller, nicht kalkulierbarer Faktor zugrunde liegt.

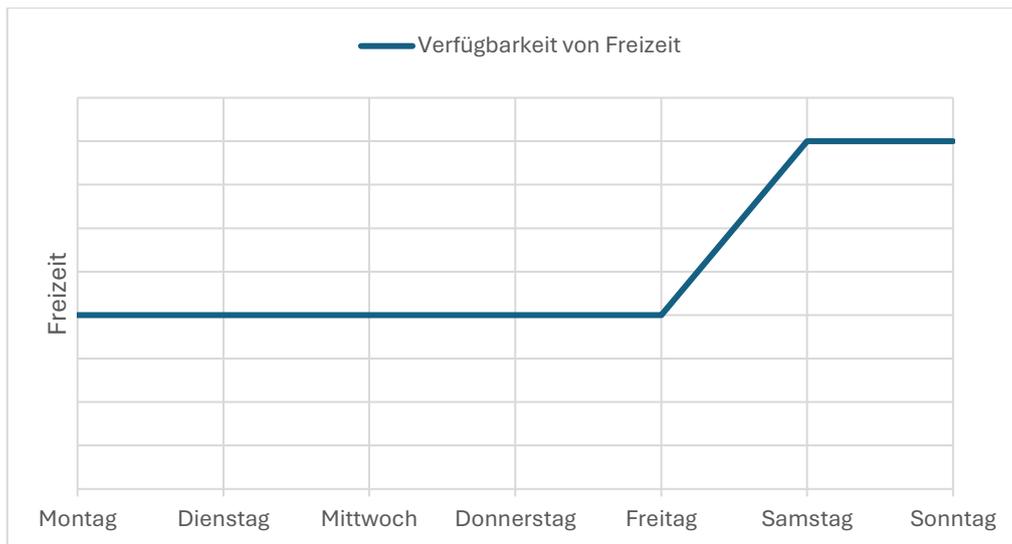


Abbildung 10: Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Tagesart

Die hier erläuterten annahmebasierten Aussagen spiegeln sich in den Daten aus der Zeitverwendungserhebung 2022 annähernd wider (DESTATIS Statistisches Bundesamt 2022).

Eigenschaft 2.3: Tageszeit

Mit der Tageszeit verhält es sich ähnlich wie mit der Tagesart. Je nach Uhrzeit variiert die Verfügbarkeit der Freizeit von Menschen (siehe Abbildung 11). Eine Veranstaltung kann eher wahrgenommen werden, wenn diese innerhalb des Zeitraumes befindet, in dem Freizeit vorliegt. Die Tageszeit wird somit ebenfalls als EF aufgenommen (siehe Anhang III).

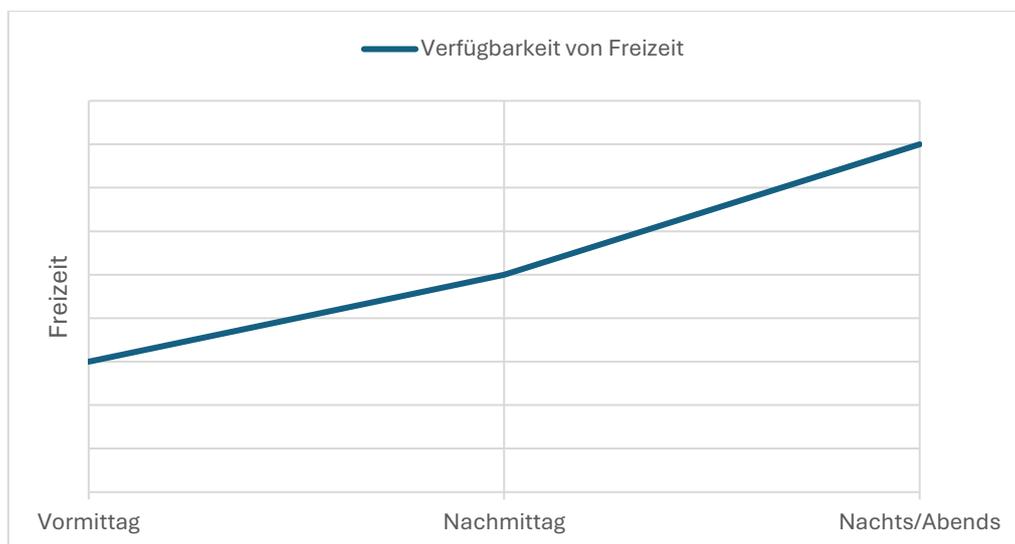


Abbildung 11: Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Tageszeit

Die hier erläuterten annahmebasierten Aussagen spiegeln sich in der Zeitverwendungserhebung 2022 annähernd wider (DESTATIS Statistisches Bundesamt 2024).

Bei einer unabhängigen Betrachtung der Tagesart (siehe Abbildung 10) von der Tageszeit (siehe Abbildung 11) und andersherum könnte der Zeitpunkt mit dessen Attribut der Freizeit nicht abgebildet werden. Es benötigt dementsprechend die Kombination der Tagesart und -zeit, die über das Maß an verfügbarer Freizeit entscheidet (siehe Abbildung 12).

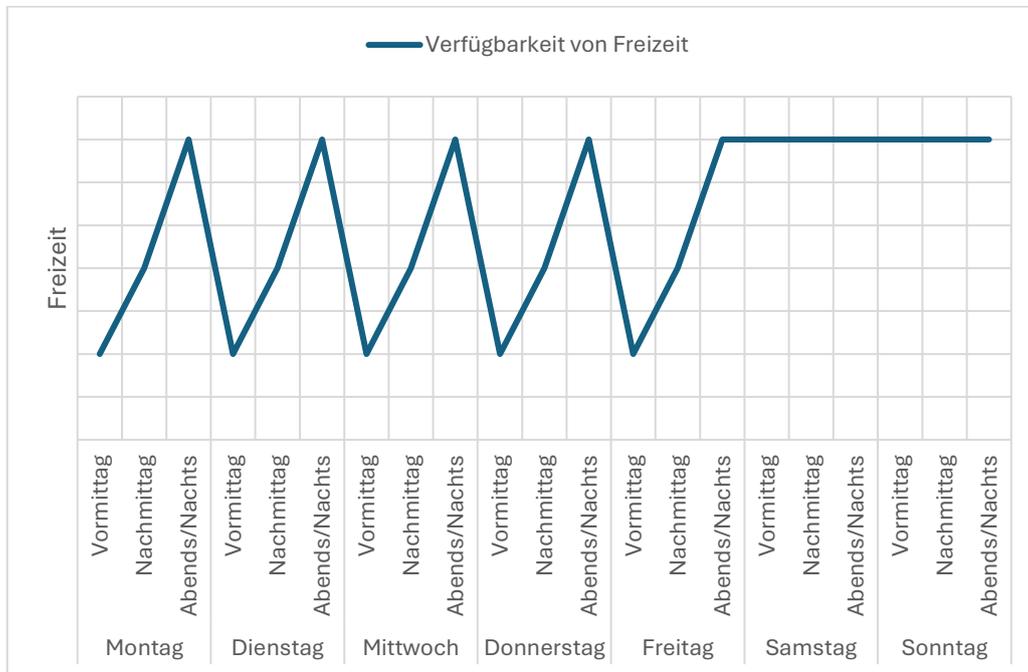


Abbildung 12: Theoretische Verteilung der Freizeit von Menschen nach der Kombination von Tagesart und -zeit

Die Kombination dieser beiden EF wird wie bereits beschrieben über die zusätzliche Variable Verfügbarkeit von Freizeit ausgedrückt (siehe Abbildung 13) und in das BBN aufgenommen (siehe Anhang III).

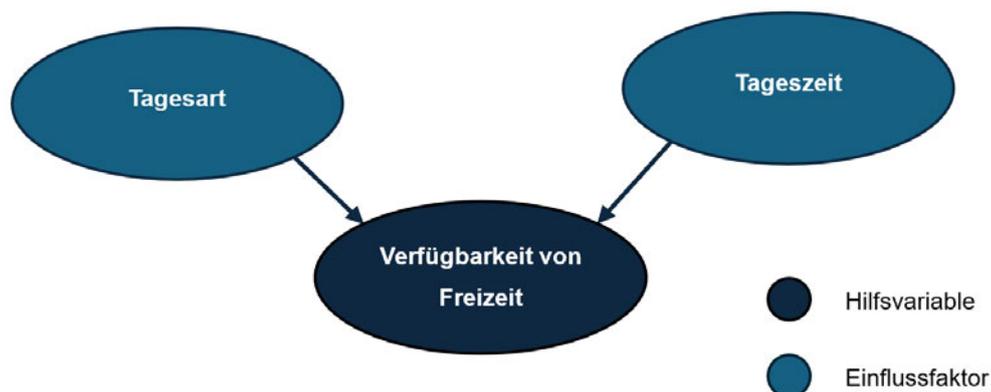


Abbildung 13: BBN der Verfügbarkeit von Freizeit

Kategorie 3: Ort

Eigenschaft 3.1: Region

Die Region beschreibt, ob eine Veranstaltung auf dem Land (rural) oder der Stadt (urban) stattfindet (Sakschewski u. a. 2019:11–12 & 40–43). Von der Region als eigener EF wird abgesehen, da die für die Ermittlung der $PAX_{max,t}$ die ausschlaggebende Eigenschaft die örtliche Infrastruktur ist. Diese Aspekte werden bereits über die EFs Mobilitätsangebot und Unterbringungsmöglichkeiten abgebildet (siehe Kategorie 7) anstelle indirekt über die Region. Dadurch ist es möglich, unabhängig von der Region die Infrastruktur zu bestimmen, ohne diese in den Zusammenhang zu bringen, ob es sich dabei um eine rurale oder urbane Region handelt. Gegebenenfalls kann ein Veranstaltungsort trotz seiner Lage in einer ländlichen Region über eine bessere Infrastruktur als der in einer urbanen Region gelegene aufweisen.

Eigenschaft 3.2: Location

Mit der Location einer Veranstaltung ist die Art der Fläche gemeint, die für die Besuchenden der Veranstaltung zur Verfügung steht. Eine Veranstaltung könnte in Parks, auf Feldern, Straßen, (Park-)Plätzen und weiteren Freiflächen (Outdoor) sowie in Arenen, Hallen, Garagen, Bunkern und weiteren baulichen Anlagen (Indoor) stattfinden (Sakschewski u. a. 2019:33, 38 & 40). Bei der Location einer Veranstaltung wird in der Betrachtung der $PAX_{max,t}$ nicht auf den Effekt der Anziehung durch die Wahl einer außerordentlichen Veranstaltungsllocation – beispielsweise einem Schloss, Bunker oder anderen prestigeträchtige baulichen Anlagen bzw. Freiflächen – eingegangen. Vielmehr wird auf den Effekt Bezug genommen, welcher die Location im Zusammenhang mit dem Wetter auf die Nutzung der Freizeit hat. Findet eine öffentliche Veranstaltung Indoor statt, beeinflusst dies das Freizeitverhalten der Besuchenden aufgrund der Wetteinflüsse, welche auf dem An- und Abreiseweg auf die Besuchenden einwirken, weniger, als wenn die Veranstaltung unter freiem Himmel stattfinden würde. Aufgrund dessen wird die Location als indirekter EF mit seinen auf Indoor und Outdoor eingegrenzten Zuständen (siehe Anhang III) in das BBN aufgenommen.

Eigenschaft 3.3: Flächenkapazität

Mittels der Flächenkapazität einer Veranstaltung kann die Anzahl der Besuchenden auf der Fläche ermittelt werden, die nicht zu einer kritischen Personendichte führt (siehe Kapitel 2.1.3). Auch wenn durch diese Anzahl eine erste Abschätzung der Größenordnung der Veranstaltung möglich ist, bedeutet dies nicht, dass das Potenzial der Flächenkapazität ausgeschöpft wird. Die Flächenkapazität einer Veranstaltung kann erfüllt, unter- oder überschritten werden. Die Kapazität der Fläche ist demnach weder für die Zahl der final teilnehmenden Besuchenden noch für die Anzahl der sich maximal zeitgleich auf der Veranstaltung aufhaltenden Besuchenden ausschlaggebend.

Eigenschaft 3.4: Flächengeometrie

Die Flächengeometrie beschreibt die Ausdehnung der Veranstaltungsfläche in seiner Form hinsichtlich der Szene- und Publikumsflächen. Mögliche Geometrien können beispielsweise rechteckig, vieleckig, rund, muster-, hantel- oder schlangenförmig sein oder die Gestalt eines Marktplatzes oder einer Arena annehmen. Hierzu kann die Veranstaltungsfläche in Teilbereiche unterteilt werden, denen entsprechende Geometrie zugeordnet wird (Sakschewski u. a. 2019:43–50). Aus der Geometrie der Fläche ist keine Wechselwirkung mit der $PAX_{max,t}$ absehbar, da die Form weder die Aufmerksamkeit oder Anziehungskraft der Veranstaltung noch die Kompatibilität der verfügbaren Freizeit mit dem Freizeitverhalten beeinflusst. Entsprechend liegt keine Kausalität vor.

Kategorie 4: Aufmerksamkeit

Eigenschaft 4.1: gesellschaftlicher Stellenwert

Der gesellschaftliche Stellenwert einer Veranstaltung drückt aus, wie angesehen die Veranstaltung unabhängig von ihrer Art ist. Daraus schließend, wird dieser Aspekt als weiterer EF im BBN berücksichtigt (siehe Anhang III). Handelt es sich bei der Veranstaltung beispielsweise um eine regional, national oder international etablierte und damit bekannte Veranstaltung, kann von einer großen Anziehungskraft ausgegangen werden. Als Beispiele für solche Veranstaltungen seien der Tag der Deutschen Einheit, die Olympiade und die Fußball-Europameisterschaft genannt. Gleiches gilt für Veranstaltungen, dessen gesellschaftlicher Stellenwert durch die Teilnahme eines berühmten Künstlers gesteigert wird.

Eigenschaft 4.2: Marketing

Das Marketing einer Veranstaltung ist die Bewerbung der Veranstaltung durch die veranstaltende Organisation bzw. Person selbst oder durch eine beauftragte Agentur. Dieses wirkt ähnlich wie der gesellschaftliche Stellenwert auf die Aufmerksamkeit, die einer Veranstaltung zuteilwird, und damit indirekt auch auf die $PAX_{max,t}$. Durch die erhöhte Aufmerksamkeit der Veranstaltung, beispielsweise durch Sozial-Media-Beiträge, wird das Angebot der Veranstaltung an eine breitere Masse an Menschen herangetragen, als wenn die Veranstaltung nicht beworben wird. Dabei ist das Ausmaß der bewirkten Aufmerksamkeit durch das Marketing von der Qualität der Marketingstrategie abhängig. Das Marketing wird entsprechend als EF in das BBN aufgenommen (siehe Anhang III).

Eigenschaft 4.3: Fremd-Publicity

Die Fremd-Publicity beschreibt, wie groß die generierte Aufmerksamkeit auf die Veranstaltung durch Fremdpersonen, die nicht zur Veranstaltung gehören, ist. Diese Personen können beispielsweise über Sozialmedien oder andere Plattformen die Aufmerksamkeit eines großen Publikums generieren und diese in ihrem Verhalten beeinflussen. Diese Eigenschaft stellt eine

schwer zu prognostizierende Größe dar, da das Eintreten eines solchen Phänomens kaum absehbar ist. Der Effekt, der beispielsweise durch Influencer mit einer großen Zahl an Follower hervorgerufen werden kann, kann sich auf Veranstaltungen stark auswirken. Dadurch kann die $PAX_{max,t}$ auf Veranstaltungen mit einem öffentlichen Charakter stark positiv oder negativ beeinflusst werden. Trotz des möglichen großen Einflusses wird aufgrund der schlechten Absehbarkeit auf die Fremd-Publicity als ein EF verzichtet. Vorstellbar ist jedoch, dass bei einer zukünftig besseren Bestimmung des Eintretens und des Ausmaßes der Fremd-Publicity diese dann als EF in das BBN aufgenommen werden kann.

Kategorie 5: Besuchende

Eigenschaft 5.1: Anzahl der Besuchenden

Bei der Anzahl der Besuchenden kann es sich um die genehmigte, die anhand der Flächenkapazität oder Fluchtwegbreiten berechnete oder um die kapazitätsbeschränkte Anzahl an Besuchenden handeln (siehe Kapitel 2.1.3). Je nach Betrachtungsweise kann diese weiter nach der erwarteten Anzahl an Besuchenden, Besuchende insgesamt oder der $PAX_{max,t}$ (siehe Kapitel 2.1.3) unterschieden werden. Die Anzahl der Besuchenden wird in dieser Betrachtung als die $PAX_{max,t}$ definiert und stellt damit die Zielvariable im BBN dar. Sie wird im ersten Prototyp des BBNs in die drei Intervalle kleiner als 5 000, von 5 000 bis 10 000 und größer als 10 000 unterteilt (siehe Anhang III). Diese Intervalle orientieren sich an den Grenzen aus der $VStättV(O)$, der zufolge ab 5 000 Besuchenden eine Abstimmung mit den (Sicherheits-)Behörden erforderlich ist, sowie am hamburgischen Genehmigungsverfahren einer (Groß-)Veranstaltung mit mehr als 10 000 Besuchenden (siehe Kapitel 2.1.2). Zu einem späteren Zeitpunkt wäre es möglich, die Anzahl der Intervalle zu erhöhen und diese dann kleiner zu definieren.

Eigenschaft 5.2: Profil der Besuchenden

Das Profil der Besuchenden kann nach sozio-¹⁵ und demografischen¹⁶ Ausprägungen unterteilt werden (Hessisches Ministerium des Innern und für Sport 2013:8; Bachmeier u. a. 2015:17; Sakschewski u. a. 2019:22–29). Das Profil der Besuchenden entfällt, weil es sich durch andere EFs abbilden lässt. Der Mensch bleibt im Mittelpunkt der Betrachtung und wird im Hinblick auf (Groß-)Veranstaltungen und die $PAX_{max,t}$ dezidiert betrachtet. Abgebildet wird der Mensch durch die auf ihn wirkende Anziehungskraft, welche sich durch die generierte Aufmerksamkeit und die Attraktivität der Veranstaltung zusammensetzt. Aber auch das von ihm ausgehende Freizeitverhalten und seine Intentionen werden einbezogen. Dabei stehen alle hier ausgewählten EFs – wie der gesellschaftliche Stellenwert, das Wetter, die Veranstaltungsart oder das Programm – am Ende in Beziehung zum Menschen.

¹⁵ Nach sozialen bzw. gesellschaftlichen Eigenschaften, die einer Personengruppe zugeordnet werden können, wie beispielsweise Bildung, Herkunft und Werte.

¹⁶ Eigenschaften die einem Individuum zugeordnet werden können, wie Alter, Geschlecht oder Interessen.

Kategorie 6: Wetter

Als weiterer EF eignet sich das Wetter, da je nach Wetterlage sich das Verhalten von Menschen ändert. Ist das Wetter gut, so ist damit zu rechnen, dass Menschen eher willens sind, nach draußen zu gehen und Aktivitäten nachzugehen, als bei schlechtem Wetter. Dementsprechend hemmt eine schlechte Wetterlage den Besuch einer Veranstaltung. Gutes Wetter trägt dazu bei, dass der Besuch einer Veranstaltung eher wahrgenommen wird. Von der Bestimmung des Wetters durch die Eigenschaften der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke oder Niederschlagswahrscheinlichkeit wird aufgrund deren komplexen Zusammenhängen (siehe Abbildung 6 und Anhang I) abgesehen. Stattdessen wird das Wetter vereinfacht durch dessen Zustände gut, mäßig und schlecht ausgedrückt (siehe Anhang III).

Die Aussagen zum Besucherverhalten im Abhängigkeit vom Wetter lassen sich auf Erkenntnisse zum Konsum- und Reiseverhalten von Menschen zurückführen (Regele 2011:301–304).

Kategorie 7: Örtliche Infrastruktur

Eigenschaft 7.1: Mobilitätsangebot

Das Mobilitätsangebot beschreibt die Erreichbarkeit des Veranstaltungsortes. Zu den öffentlichen Transportmitteln gehören beispielsweise Busse, Bahnen, Taxen, Flugzeuge und alternativ, wenn vorhanden, Stadträder und -roller. Die öffentlichen Transportmittel können nach deren Betriebsgebiet in Fern-, Regional-, und Nahverkehr unterteilt werden. Die privaten Transportmittel beinhalten unter anderem Pkws, Busse und Fahrräder. Hierbei ist wichtig, wo die privaten Transportmittel während der Veranstaltung abgestellt werden können. Mobilitätsangebote als EFs wirken sich entsprechend auf die Erreichbarkeit der Veranstaltung aus. Vor allem für Besuchende aus entfernteren Regionen spielt dieser Aspekt eine wesentliche Rolle. Ist das Angebot nicht ausreichend, dann können sich potenzielle Besuchende gegen den Besuch der Veranstaltung entscheiden. Hierbei beeinflusst die veranstaltende Organisation bzw. Person die Erweiterung des Mobilitätsangebotes, sofern diese für diese tragbar ist. Das Mobilitätsangebot als EF wird in das BBN aufgenommen und verbleibt bei den bereits zugewiesenen Ausprägungen (siehe Anhang III).

Eigenschaft 7.2: Unterbringungsmöglichkeiten

Die Nachfrage nach Unterbringungsmöglichkeiten für Besuchende einer Veranstaltung bezieht sich auf Veranstaltungen, welche mehrere Tage andauern und Besuchende durch ein täglich variierendes Programm zum Verweilen im Veranstaltungsort bewegen oder wenn die Besuchenden aus entfernten Regionen anreisen. Sind für solche Veranstaltungen nicht genügend Unterbringungsmöglichkeiten vorhanden oder die Art der Unterbringung geht nicht mit den Ansprüchen des Profils der Besuchenden einher, kann das Interesse an der Veranstaltung

gemindert werden. Aus diesen Gründen wird die Unterbringungsmöglichkeit mit dessen Zuständen (siehe Anhang III) in das BBN überführt.

4.2 Entwicklung des Bayesian Belief Networks

Die Vorauswahl der EFs, die in dem vorherigen Kapitel (siehe Kapitel 4.1.2) vorgenommen wurde, wird nun verwendet, um daraus das BBN zu entwickeln. Zunächst wird dazu das DAG anhand der ausgewählten EF konstruiert. Darauffolgend werden die EF und deren Beziehungen in dem DAG quantifiziert, womit der Prototyp zur Ermittlung der $PAX_{\max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung steht. Dieser Prototyp ist im Anhang III festgehalten. Die Funktionsweise des BBNs wird darauf noch an einem Beispiel und der Sensitivitätsanalyse illustriert.

4.2.1 Visualisierung des Bayesian Belief Networks

Für die Visualisierung des DAGs, auf dem das BBN aufbaut, müssen die identifizierten EFs auf ihre Beziehungen untereinander untersucht werden, bevor sie dargestellt werden können. Dabei ist es möglich, die insgesamt zwölf EFs mit jeglicher Beziehungsart (siehe Abbildung 5) zu kombinieren, wodurch eine Vielzahl an möglichen DAGs generiert werden kann. Dadurch wird ersichtlich, wie komplex und schwierig die Konstruktion eines optimalen Netzwerkes ist, mit oder ohne Expertenwissen.

Zur Identifizierung der Beziehungen werden die EFs mittels einer Beziehungsmatrix gegenübergestellt. Die Orientierung erfolgt anhand der Fragestellung, aus welcher EF sich Informationen über den Zustand eines anderen EF ableiten lassen und inwiefern diese in der Betrachtung der $PAX_{\max,t}$ relevant sind (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Beziehungsmatrix zwischen den Einflussfaktoren und den Zielvariablen

	$PAX_{max,t}$	Veranstaltungsart	Programm	zeitliche Limitierung	Parallelveranstaltung	gesellschaftlicher Stellenwert	Marketing	Tagesart	Tageszeit	Wetter	Location	Mobilitätsangebot	Unterbringungs- möglichkeiten
$PAX_{max,t}$													
Veranstaltungsart	X					X							
Programm	X												
zeitliche Limitierung	X												
Parallelveranstaltung	X											X	X
gesellschaftlicher Stellenwert	X	X					X						X
Marketing	X					X							
Tagesart	X											X	
Tageszeit	X											X	
Wetter	X												
Location	X												
Mobilitätsangebot	X												
Unterbringungs- möglichkeiten	X												

Aus der Beziehungsmatrix lässt sich erkennen, dass zwischen den EFs wenige Beziehungen bestehen. Diese wenigen Beziehungen zwischen den EFs werden durch die Formulierung der Zustände hervorgerufen. Beispielsweise könnte allein aus der Benennung der EFs geschlossen werden, dass zwischen der Veranstaltungsart und dem Programm ein kausaler Zusammenhang besteht. Denn wenn beispielsweise bekannt ist, dass es sich bei der Art der Veranstaltung um einen Flohmarkt handelt, könnte anhand dessen geschlossen werden, wie wahrscheinlich die Art des Programms, beispielsweise eine Auktion, Bestandteil der Veranstaltung ist. Ob das Programm jedoch nach den definierten Zuständen zusätzliche Programmpunkte enthält ob die Programmpunkte der Art der Veranstaltung entsprechen oder dieser widersprechen, kann nicht anhand der Veranstaltungsart abgeleitet werden.

Aus der Veranstaltungsart könnte jedoch ein kausaler Zusammenhang mit dem gesellschaftlichen Stellenwert hergestellt werden. Handelt es sich beispielsweise um eine Fußballsportveranstaltung, kann davon ausgegangen werden, dass der gesellschaftliche Stellenwert groß ist. Hintergrund dafür, ist das der Fußballsport gesellschaftlich anerkannt ist und eine große Masse an Fans hat.

Die möglichen Beziehungen zwischen diesen EFs würden die Aussagekraft über die $PAX_{max,t}$ jedoch nicht verbessern und die Quantifizierung verkomplizieren. Die Beziehungen werden aufgrund dessen als d-unverbunden (siehe Kapitel 3.2.2) angesehen und auch der Übersicht halber in der Struktur des DAGs vernachlässigt. Dadurch ist es dann zwar nicht möglich, entgegen den gerichteten Beziehungen (siehe Kapitel 2.2.5) etwas über die Wahrscheinlichkeiten der Zustände der EFs Rückschlüsse zu erfahren. In der Betrachtungsweise, dass das primäre Ziel die Ermittlung der $PAX_{max,t}$ ist, ist dies akzeptabel.

Wenn, wie in Tabelle 6 dargestellt, alle EFs direkt auf die $PAX_{max,t}$ wirken, ist absehbar, dass die Quantifizierung des CPTs unverhältnismäßig aufwendig wird. Um die Struktur des Netzwerkes und damit einhergehend die Gewichtung zu vereinfachen, werden Hilfsvariablen (HV), welche die EFs auf deren Wirkungsbereich zusammenfassen, in das Netzwerk aufgenommen. Aus den Beschreibungen aus Kapitel 4.1.2 ist bereits teilweise erkennbar, welche HVs sich anbieten würden. Dem Netzwerk werden die acht HVs – Attraktivität, Aufmerksamkeit, Anziehungskraft, interner Veranstaltungscharakter, Freizeit, Verfügbarkeit von Freizeit, Freizeitverhalten und örtliche Infrastruktur – hinzugefügt (siehe Abbildung 14 und Anhang III).

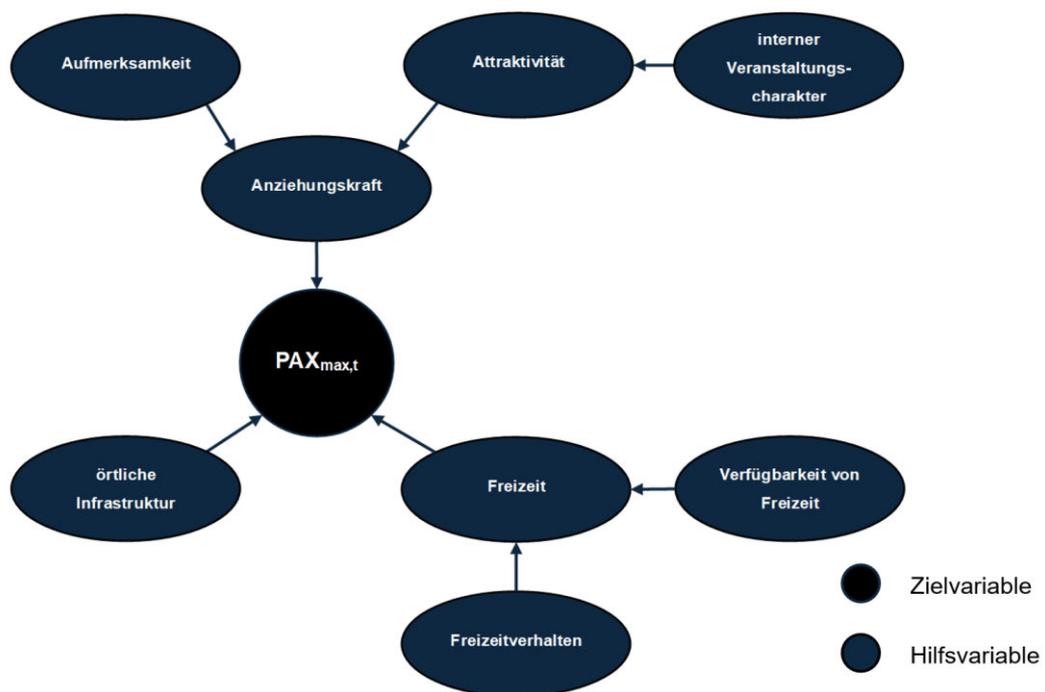


Abbildung 14: BBN-Teilausschnitt der Hilfsvariablen

Die drei HVs Anziehungskraft, Freizeit und örtliche Infrastruktur wirken direkt auf die $PAX_{max,t}$ ein. Die Anziehungskraft wird weiter durch die beiden HVs Aufmerksamkeit und Attraktivität und deren EF beeinflusst. Der interne Veranstaltungscharakter wirkt sich im BBN neben den EFs als weitere HV auf die Attraktivität aus. Die Freizeit definiert sich durch die HVs Verfügbarkeit von Freizeit und Freizeitverhalten.

Die Aufmerksamkeit ist das Maß, welches durch die Veranstaltung generiert wird und auf den Menschen einwirkt. Ist die Aufmerksamkeit hoch, kann davon ausgegangen werden, dass eine breite Masse an Personen über das Veranstaltungsangebot informiert ist und diese ggf. als Besuchende auf der Veranstaltung vorzufinden sind. Die Attraktivität wird hingegen durch die veranstaltungsbezogenen Eigenschaften generiert. Die Freizeit stellt die Kompatibilität der verfügbaren Freizeit mit dem Freizeitverhalten der Menschen dar. Die örtliche Infrastruktur beschreibt, wie zuträglich die der Veranstaltung umgebende Infrastruktur ist. Die HV und dessen Zustände sind im Anhang III zu finden.

Um das Beziehungsverhältnis zwischen den HVs und den EFs aufzuweisen, wurde mithilfe einer weiteren Beziehungsmatrix gearbeitet (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Beziehungsmatrix zwischen den Einflussfaktoren und den Hilfsvariablen

X direkter Einfluss (X) indirekter Einfluss	Anziehungskraft	Aufmerksamkeit	Attraktivität	interner Veranstaltung-charakter	Freizeit	Verfügbarkeit von Freizeit	Freizeitverhalten	örtliche Infrastruktur
Veranstaltungsart	(X)		(X)	X				
Programm	(X)		(X)	X				
zeitliche Limitierung	(X)		(X)	X				
Parallelveranstaltung	(X)		X					
gesellschaftlicher Stellenwert	(X)	X						
Marketing	(X)	X						
Tagesart					(X)	X		
Tageszeit					(X)	X		
Wetter					(X)		X	
Location					(X)		X	
Mobilitätsangebot								X
Unterbringungsmöglichkeiten								X

Entsprechend der Beziehungsmatrix (siehe Tabelle 7) wirken die EFs auf die HVs entsprechend ihrer Wirkungsbereiche ein (siehe Anhang III). Der Aufmerksamkeit werden der gesellschaftliche Stellenwert und das Marketing zugeordnet. Die Attraktivität wird direkt von der Parallelveranstaltung beeinflusst, während die Veranstaltungsart, das Programm und die zeitliche Limitierung indirekt über die HVs, internen Veranstaltungscharakter, auf die Attraktivität einwirken. Die Verkettungen der Aufmerksamkeit und Attraktivität schließen an die Anziehungskraft an,

welche direkt auf die $PAX_{max,t}$ wirkt. Die HV Freizeit beinhaltet wie beschrieben die verfügbare Freizeit, welche von der Tagesart und -zeit beeinflusst wird, und das Freizeitverhalten, welches vom Wetter und der Location beeinflusst wird. Zuletzt bestimmen das Mobilitätsangebot und die Unterbringungsmöglichkeiten die örtliche Infrastruktur.

Unter den HVs sind keine Beziehungen definiert, da die enthaltenden EFs sonst doppeldeutig auf die $PAX_{max,t}$ einwirken würden, was dessen Gewichtung erschwert und verzerren würde.

Anhand der zuvor definierten EFs (siehe Kapitel 4.1.2) für das Netzwerk und den hier weiter definierten HVs und Beziehungen zwischen diesen wurde das DAG erstellt. Das DAG ist im Anhang III zu finden. Nachfolgend müssen nun die Wahrscheinlichkeiten quantifiziert werden.

4.2.2 Quantifizierung des Bayesian Belief Networks

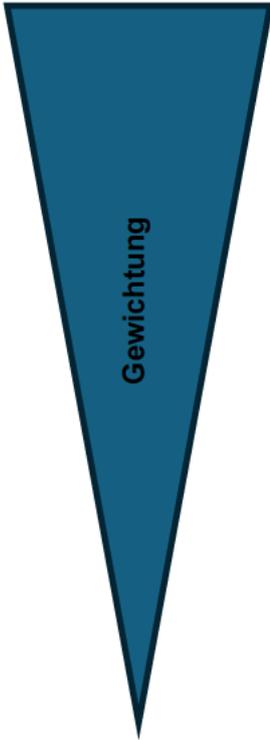
Eine vollständige Spezifikation der Wahrscheinlichkeitsverteilung benötigt eine übermäßig große Anzahl an Wahrscheinlichkeiten, wenn diese unabhängig voneinander betrachtet werden. Die Anzahl der Wahrscheinlichkeiten (n) bei binären Variablen ist definiert durch $2^n - 1$, bei Variablen mit mehr Zuständen erhöht sich die Anzahl entsprechend. Durch Unabhängigkeitsannahmen, welche durch die d -Verbundenheit bzw. d -Unverbundenheit (siehe Kapitel 3.2.2) zustande kommen, kann diese Anzahl an Wahrscheinlichkeiten drastisch reduziert werden (Charniak 1991:52–53).

Bei der Anzahl von 20 dreiwertigen und einer binären Variable, die für das BBN zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$ definiert wurden, wäre die Angabe von $6,97 \cdot 10^9$ Wahrscheinlichkeiten nötig. Durch die Einsparung sind jedoch nur 377 nötig.

Als Vorstufe zur eigentlichen Quantifizierung kann mittels einer Rangfolge eine erste grobe Einteilung erfolgen (siehe Tabelle 8). Dazu wird gesamtheitlich betrachtet, welche der Variablen den größten, kleinsten oder einen ähnlichen Einfluss auf die $PAX_{max,t}$ haben sollen. Dabei wird ähnlich wie in Kapitel 4.1.2 mit annahmebasierten Aussagen gearbeitet.

Tabelle 8: Rangfolge der Einflussfaktoren und Hilfsvariablen

Anziehungskraft	Attraktivität	interner Veranstaltungscharakter	Veranstaltungsart
			zeitliche Limitierung
			Programm
	Parallelveranstaltung		
Anziehungskraft	Aufmerksamkeit	gesellschaftlicher Stellenwert	
		Marketing	
Freizeit	Verfügbarkeit von Freizeit	Tagesart	
		Tageszeit	
	Freizeitverhalten	Wetter	
		Location	
örtliche Infrastruktur	Mobilitätsangebot		
	Unterbringungsmöglichkeiten		



Die drei direkten HV werden untereinander so gewichtet, dass die Anziehungskraft den größten Einfluss, die Freizeit den zweitgrößten und die örtliche Infrastruktur den im Verhältnis kleinsten Einfluss auf die $PAX_{max,t}$ aufweisen. Der größte Einfluss durch die Anziehungskraft ergibt sich zum einen durch die Anzahl und der Relevanz der EFs, welche auf die Anziehungskraft einwirken. Der Anziehungskraft unterliegen noch zwei weitere HVs: die Attraktivität, welche sich aus einem EF und einer weiteren HV und dessen EF zusammensetzt, und der Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeit und damit auch die Attraktivität trägt eine der bedeutsamsten Variablen, den gesellschaftlichen Stellenwert, in sich, welcher vom Marketing ergänzt wird. Durch die Tragweite erlangt die Aufmerksamkeit den zweiten Rang intern der Anziehungskraft. Die Freizeit beinhaltet indessen die zwei weiteren HVs mit jeweils zwei EFs.

Aus der vorangegangenen Rangfolge (siehe Tabelle 8) lässt sich schlussfolgern, dass die Gesamtgewichtung der HVs durch die Einzelgewichtungen der EFs zustande kommt und die EFs einer eigenen Rangfolge unterliegen (siehe Tabelle 9). Beispielsweise kann das Wetter einen größeren Einfluss als das Programm aufweisen, obwohl der Rang der HV des Wetters unter dem der HV des Programms liegt.

Tabelle 9: Rangfolge der Einflussfaktoren

1.	gesellschaftlicher Stellenwert
2.	Veranstaltungsart
3.	Wetter
4.	Tagesart und Tageszeit
5.	zeitliche Limitierung
6.	Marketing und Programm
7.	Parallelveranstaltung
8.	Location
9.	Mobilitätsangebot
10.	Unterbringungsmöglichkeiten



Der größte Einfluss geht vom gesellschaftlichen Stellenwert aus, während dem Mobilitätsangebot und der Unterbringungsmöglichkeiten der geringste Einfluss zugewiesen wird. Auf dem vierten Platz sind sowohl die Tagesart als auch die Tageszeit, die aufgrund ihres Zusammenspiels gleichermaßen Einfluss ausüben. Dazu wird zunächst identifiziert, wie die beiden HVs Verfügbarkeit von Freizeit und Freizeitverhalten in Relation zueinanderstehen. Das Freizeitverhalten kommt nur zu tragen, wenn Freizeit vorliegt, denn ohne Freizeit kein Freizeitverhalten. Nach dieser Überlegung hat die Verfügbarkeit von Freizeit den größeren Einfluss auf die Freizeit als dessen Verhalten. Weiter betrachtet müssen unabhängig voneinander die EFs der verfügbaren Freizeit mit dem Freizeitverhalten verglichen werden. Die EFs Tagesart und Tageszeit der verfügbaren Freizeit weisen einen ähnlich großen Anteil auf, da ohne die Information, um welchen Tag es sich handelt, die Aussagekraft der Tageszeit weniger relevant ist als mit dieser Information. Umgekehrt verhält es sich ähnlich. Beim Freizeitverhalten wird dem Wetter ein größerer Rang zugeordnet als der Location, denn auch wenn es sich um eine Indoor-Location handelt, kann schlechtes Wetter den Ausschlag dafür geben, die Veranstaltung nicht zu besuchen, unabhängig von der Location.

Die spezifischen Werte der Wahrscheinlichkeiten und die der Differenzen zwischen den Variablen können aus den Rangfolgen (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9) nicht abgelesen werden. Hierzu bedarf es der eigentlichen Quantifizierung. Die Quantifizierung des BBNs wird mittels folgender Vorüberlegungen angegangen:

- Rangfolge und Gewichtung der EFs und HVs
- Wechselwirkungen zwischen den Variablen
- Positiver oder negativer Effekt der Zustände

Auch hierbei werden annahmebasierte Werte bestimmt, da kaum evidenzbasierten Daten vorliegen. Dazu werden zunächst die Variablenäste einer nach dem anderen abgelaufen und dessen Wahrscheinlichkeiten in einem CPT (siehe Kapitel 3.2.4) bestimmt.

CPT der Anziehungskraft

Zu Bestimmung des CPTs der Anziehungskraft müssen zunächst die davon abgehenden Variablenzweige der Attraktivität und Aufmerksamkeit bestimmt werden. Der CPT der Anziehungskraft ist in Abbildung 21 dargestellt.

CPT der Attraktivität

Für die EFs Veranstaltungsart, zeitliche Limitierung und Programm, welche die HVs interner Veranstaltungscharakter beeinflussen, werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten quantifiziert (siehe Abbildung 15). Für die Art der Veranstaltung wurde festgelegt, dass es sich bei einer (Groß-)Veranstaltung meist zu 50 % um ein Fest, zu 35 % um eine Sportveranstaltung und zu 15 % um einen Markt handelt. Bei den Wahrscheinlichkeiten der zeitlichen Limitierung wird betrachtet, mit welchem Zeitansatz die (Groß-)Veranstaltungen vorwiegend stattfinden. Dabei werden Veranstaltungen, die etwa drei Tage andauern, was der Länge eines Wochenendes entspricht, am häufigsten geschätzt. Darauf folgen die zeitliche Limitierung von circa 24 h und die von mehr als drei Tagen. Für das Programm wurde geschätzt, dass (Groß-)Veranstaltungen zusätzlich zum eigentlichen Programm eher dazu tendieren, ein zusätzliches Programm einzubinden, als dies nicht zu tun. Dabei handelt es sich meist um Programm, das dem Charakter der Veranstaltung widerspricht.

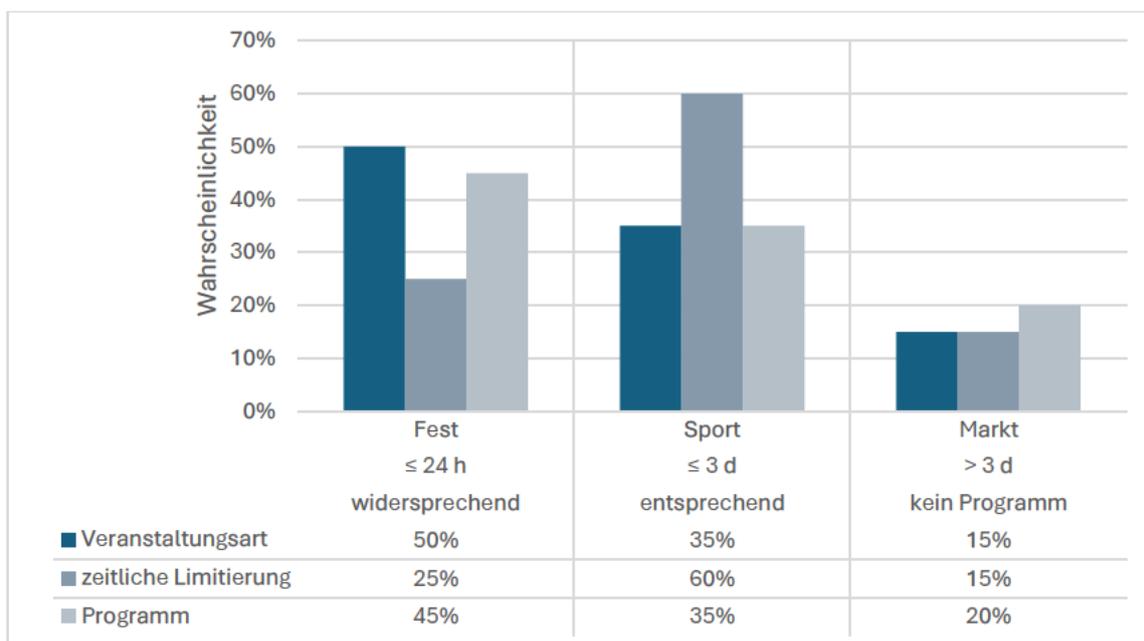


Abbildung 15: CPTs der Veranstaltungsart, zeitlichen Limitierung und dem Programm

Für den CPT des internen Veranstaltungscharakters (siehe Abbildung 16) werden dessen Zustände durch die Zustände der vorgängigen EFs (siehe Abbildung 15) beschrieben. Mit drei dreiwertigen EFs ergibt sich schon eine komplexere Darstellungsweise als bei zwei dreiwertigen EFs (siehe Abbildung 18). Zunächst wurde der Einfluss durch die Veranstaltungsart ausgeblendet, um diesen nach der Betrachtung des internen Veranstaltungscharakter anhand der Veranstaltungsart und der zeitlichen Limitierung wieder einzubringen.

Die EFs in der Abbildung 16 sind entsprechend der Gewichtung ihres Einflusses in absteigender Reihenfolge angeordnet. Entsprechend liegt links eine Festveranstaltung, welche weniger als 24 Stunden dauert und ein der Veranstaltungsart widersprechendes zusätzliches Programm aufweist. Für diese Veranstaltung liegt die Wahrscheinlichkeit, einen fördernden internen Veranstaltungscharakter aufzuweisen, bei 75 %. Für neutral liegt die Wahrscheinlichkeit bei 25 % und für hemmend bei 0 %. Auf der gegenüberliegenden Seite des Diagramms liegt ein Markt, der mehr als drei Tage dauert und kein Programm geplant hat. Dessen Wahrscheinlichkeit auf einen hemmenden internen Veranstaltungscharakter ist im Vergleich zu den anderen Kombinationsmöglichkeiten am größten.

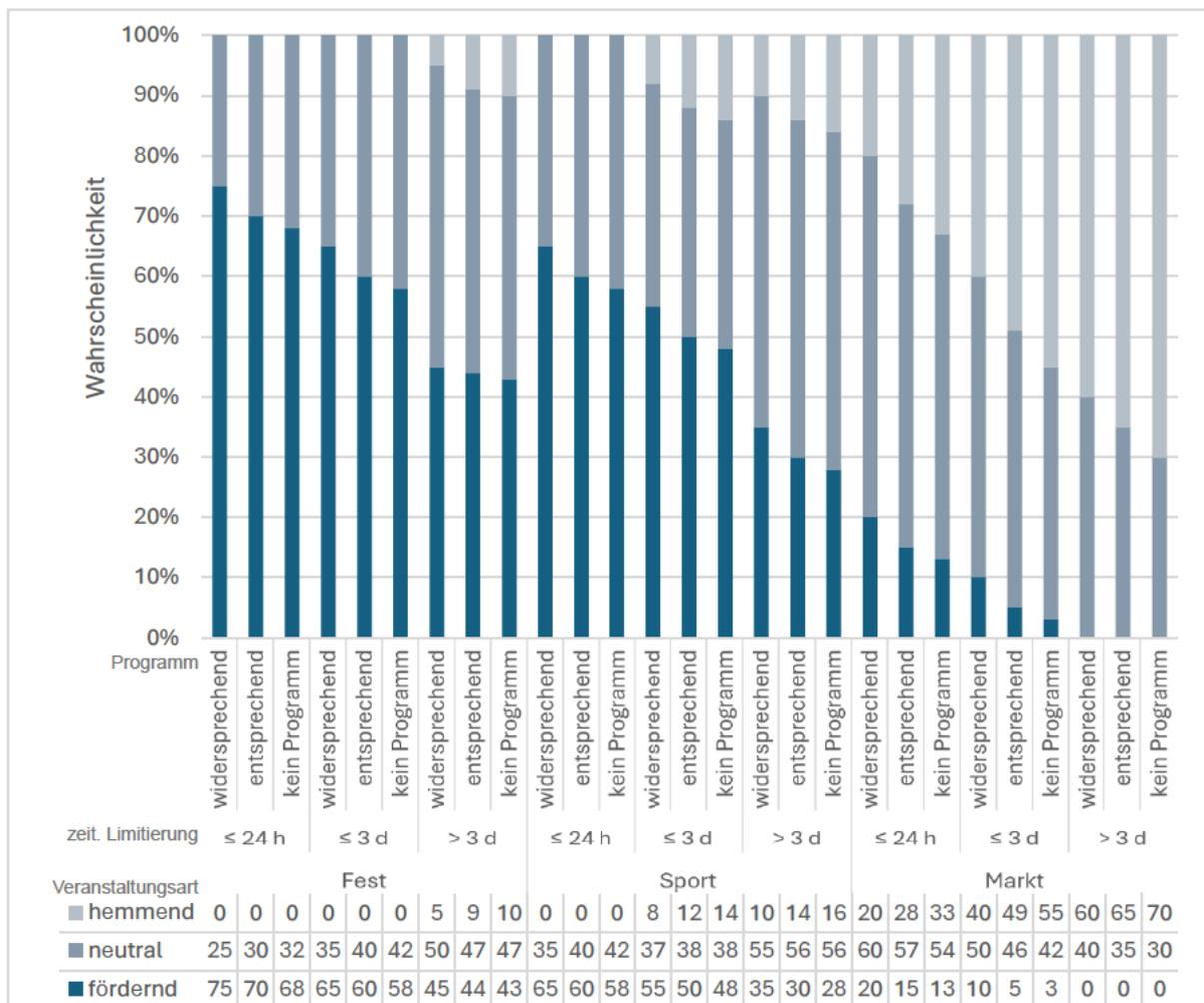


Abbildung 16: CPT des internen Veranstaltungscharakters

Vergleicht man die Veranstaltungsarten und deren Zustände je nach Programm und zeitlicher Limitierung, wird ein abgeflachter Verlauf in dem Diagramm ersichtlich, der eine größere Abweichung zwischen dem Markt und dem Fest bzw. Sport zeigt. Entsprechend der zuvor definierten Rangfolgen (siehe Tabelle 9) sieht man zwischen den unterschiedlichen Zuständen des Programms eine geringere Veränderung als zwischen den Zuständen der zeitlichen Limitierung, welche ebenfalls eine geringere Veränderung insgesamt bewirkt. Eine größere Abweichung geht bei der zeitlichen Limitierung von dem Zustand größer als 3 Tage aus. Dies kommt dadurch zustande, dass diesem Intervall einen größeren verringernden Effekt zugewiesen werden kann.

Entsprechend dem Variablenast wird nun die Attraktivität mittels des internen Veranstaltungscharakters und der Parallelveranstaltung gewichtet (siehe Abbildung 18). Davor wird noch der ausstehende CPT für die Parallelveranstaltung geschätzt (siehe Abbildung 17), wobei keine spezifische Wahrscheinlichkeit angegeben wird, welcher der Zustände am wahrscheinlichsten vorkommt, da dieser Faktor aufgrund dessen Varianz nicht annahmebasiert eingeschätzt werden kann.

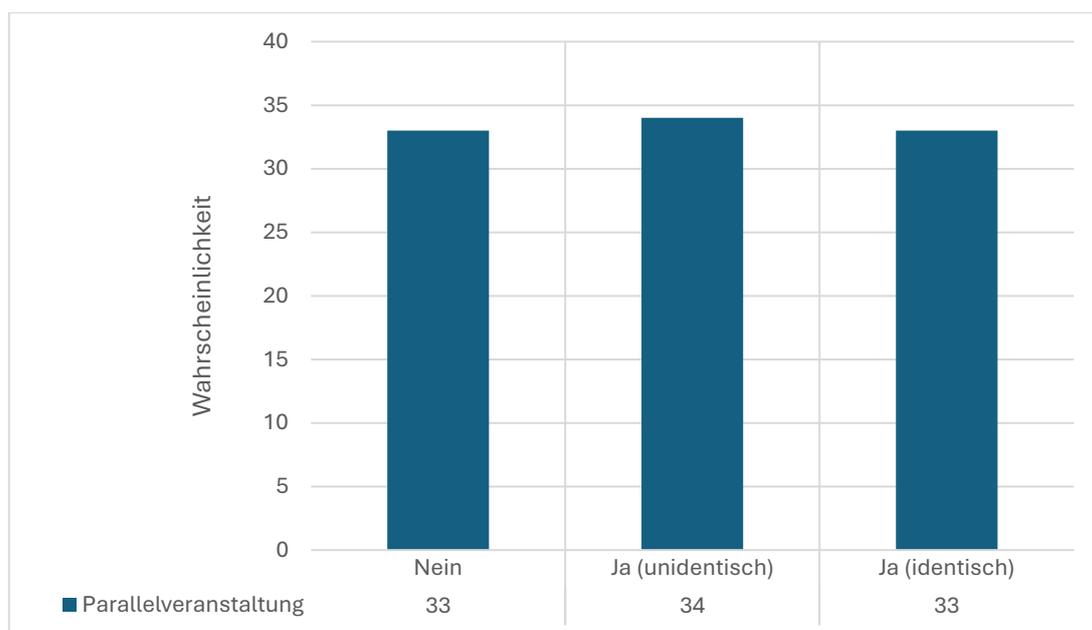


Abbildung 17: CPT der Parallelveranstaltung

Für den CPT der Attraktivität (siehe Abbildung 18) wirken wie zuvor die entsprechenden Rangfolgen (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9) in die Betrachtung ein.

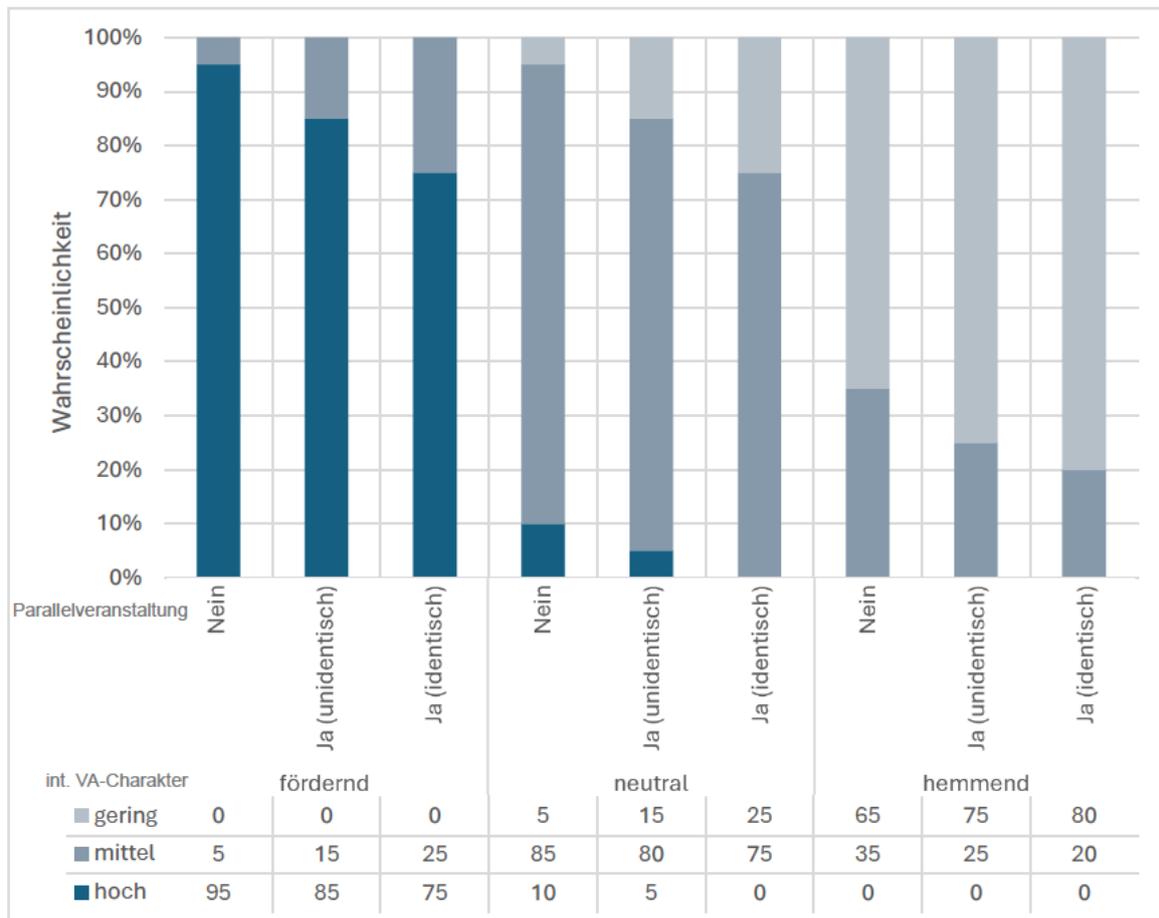


Abbildung 18: CPT der Attraktivität

Im Vergleich der beiden EFs wird ersichtlich, dass die Einflussnahme durch den internen Veranstaltungscharakter wesentlich größer ist als durch die der Parallelveranstaltung. Je nach internem Veranstaltungscharakter wirkt dessen entsprechender Zustand gewichtiger auf den jeweiligen Zustand der Attraktivität. Ist der interne Veranstaltungscharakter fördernd, dann ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Zustand der Attraktivität hoch ist. Wäre der interne Veranstaltungscharakter neutral, dann wäre die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Attraktivität den Zustand mittel aufweist. Entsprechendes gilt für die hohe Attraktivität. Die Parallelveranstaltung verhält sich innerhalb des internen Veranstaltungscharakter mit kleineren Abstufungen der Wahrscheinlichkeiten, was dessen geringeren Einfluss wiedergibt.

CPT der Aufmerksamkeit

Nach der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der EFs Marketing und gesellschaftlicher Stellenwert und der HV Aufmerksamkeit (siehe Abbildung 19) ist der gesellschaftliche Stellenwert am ausgeprägtesten, da davon ausgegangen werden kann, dass (Groß-)Veranstaltungen aufgrund ihrer Größenordnung eine größere Bekanntheit bzw. einen höheren gesellschaftlichen Stellenwert aufweisen. Entsprechend reduziert sich die Wahrscheinlichkeit bei

einem mittleren oder geringen Stellenwert. Beweggrund dafür ist, dass in den meisten Fällen (Groß-)Veranstaltungen aus Veranstaltungen heranwachsen oder aus großen gesellschaftlichen Ereignissen heraus entstehen. In diesem Zeitraum hat die Veranstaltung schon ein paar-mal stattgefunden und sich einen eigenen gesellschaftlichen Stellenwert aufbauen können. Für das Marketing bedeutet dies, dass aufgrund des hohen gesellschaftlichen Stellenwertes bereits viel Aufmerksamkeit hervorgerufen wird und ein hohes Marketing nicht mehr Menschen erreicht als schon durch den gesellschaftlichen Stellenwert. Trotzdem müssen die Menschen an die (Groß-)Veranstaltung erinnert werden. Nur weil der gesellschaftliche Stellenwert schon eine gewisse Aufmerksamkeit hervorruft, bedeutet dies nicht direkt, dass der Marketingeinsatz gering ausfällt. Daher liegt der Schwerpunkt des Marketings auf mittel.

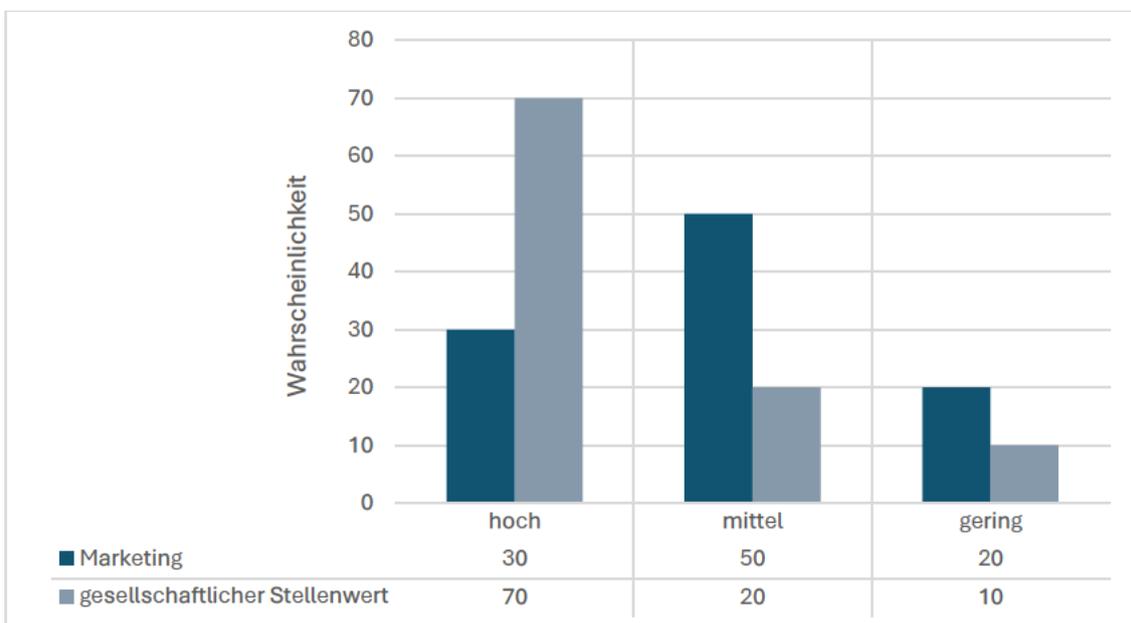


Abbildung 19: CPTs des Marketings und des gesellschaftlichen Stellenwerts

Weiter wird der CPT der Aufmerksamkeit erstellt. Bei der Rangfolge der EFs befand sich der gesellschaftliche Stellenwert an erster und das Marketing an sechster Stelle (siehe Tabelle 9). Entsprechend wird beachtet, dass der Zustand der Aufmerksamkeit stärker vom gesellschaftlichen Stellenwert beeinflusst wird. Wäre der Einfluss gleichbedeutend, so wäre, wenn einer der beiden Zustände hoch und der andere gering ist, die Aufmerksamkeit zu 50 % mittel und zu jeweils zu 25 % gering und hoch. Stattdessen ergibt sich jedoch bedingt durch die Gewichtung eine Verteilung von beispielsweise 20 % mittel zu 80 % hoch.

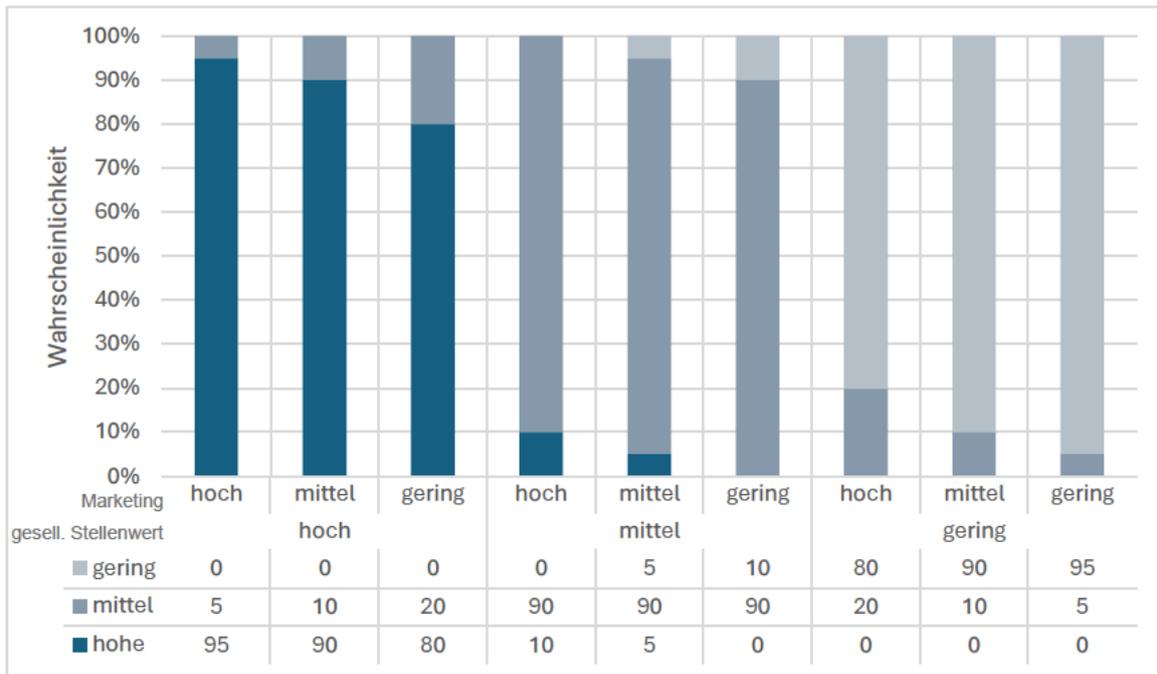


Abbildung 20: CPT der Aufmerksamkeit

Insgesamt sinkt die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Aufmerksamkeit bei geringerem gesellschaftlichem Stellenwert als bei geringem Marketingeinsatz. Bei einem hohen Marketingeinsatz schwankt die Wahrscheinlichkeit einer hohen Aufmerksamkeit in Abhängigkeit vom gesellschaftlichen Stellenwert zwischen 95 und 0 %.

Aus den beiden HVs Aufmerksamkeit und Attraktivität ergibt sich die Anziehungskraft, für welche nachfolgend der CPT bestimmt wird.

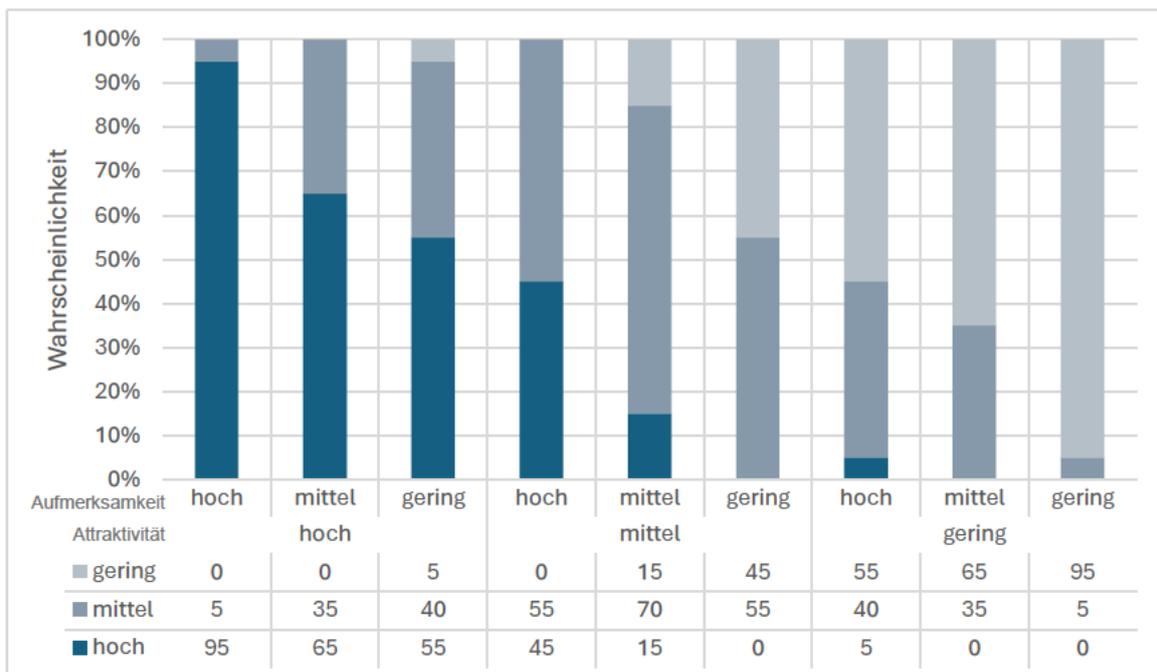


Abbildung 21: CPT der Anziehungskraft

Da der Attraktivität mehr Gewichtung zugeordnet wurde als der Aufmerksamkeit, steigt die Wahrscheinlichkeit einer hohen Anziehungskraft. Beispielsweise ist bei einer geringen Aufmerksamkeit und einer hohen Attraktivität die Wahrscheinlichkeit einer hohen Anziehungskraft am größten. Andersherum, bei einer hohen Aufmerksamkeit und einer geringen Attraktivität, zeigt sich, dass die Chance auf eine hohe Anziehungskraft gering (5 %) ist und in dieser Kombination der EFs die Wahrscheinlichkeit für eine geringe Anziehungskraft am größten ist.

CPT der Freizeit

Als nächster Variablenast wird die Freizeit, beginnend bei der Tageszeit und -art, quantifiziert (siehe Abbildung 22). Anders als bei den EFs zuvor kann die Eintrittswahrscheinlichkeit anhand von Daten annähernd hergeleitet werden. Allgemein bekannt ist beispielsweise, dass ein Gemeinjahr aus 365 Tagen besteht, was ungefähr 52 Wochen entspricht. Montag bis Freitag gelten als Werktage und Samstag bis Sonntag als Wochenende (siehe Seite 36). Mit diesen Grunddaten lassen sich schon grobe Rechnungen anstellen. Als weitere Informationen kommen hinzu, dass es deutschlandweit im Schnitt 10,69 Feiertage und 26,31 Urlaubstage für Arbeitnehmer gibt (Statista 2020; Statista 2023). Für Schüler betragen die Ferientage laut § 3 des Hamburger Abkommens von 1964 75 Tage. Anhand dieser Daten kann die Wahrscheinlichkeit prozentual ermittelt werden. Es wird angenommen, dass die Ferientage bzw. Urlaubstage immer an einem Werktag eintreten, weshalb sich die Anzahl entsprechend der Anzahl an Ferien- bzw. Urlaubstagen reduziert. Aufgrund fehlender Daten wird ferner angenommen, dass sich die Feiertage gleichmäßig auf die Werktage und das Wochenende aufteilen.

Tabelle 10: Berechnungen der Tagesart

	d	%	% (gerundet)
Jahr	365	100	100
Tag	1	0,27	/
Feiertag	10,68	2,92	3
Ferientag	50,65	13,87	14
Wochenende (Sa-So)	98,75	27,05	27
Werktag (Mo-Fr)	204,09	55,91	56

Entsprechend den Berechnungen ergibt sich, dass zu 56 % ein Werktag, zu 27 % ein Wochenende und zu 17 % ein Ferien- oder Feiertag vorliegt (siehe Tabelle 10 und Abbildung 22). Dabei wurde aufgrund fehlender Daten nicht mitberücksichtigt, wie viele freie Tage andere Personengruppen, wie beispielsweise Personen im Rentenalter oder Studierende, aufweisen, wie groß der Anteil dieser Personengruppen ist sowie die unterschiedlichen Arbeitszeiten von Tätigkeitsgruppen.

Bei der Tageszeit kann ermittelt werden, dass die Intervalle von 6 bis 13 Uhr und von 13 bis 20 Uhr zu jeweils 30 % eintreten und die von 20 bis 6 Uhr zu 40 % (siehe Tabelle 11 und Abbildung 22).

Tabelle 11: Berechnungen der Tageszeit

	Intervall [Uhrzeit]	Σ [h]	%	% (gerundet)
vormittags	6 bis 13	7	29,16	30
nachmittags	13 bis 20	7	29,16	30
abends/nachts	20 bis 6	10	41,60	40

Anhand der vorherigen Berechnungen ergibt sich entsprechender CPT (siehe Abbildung 22):

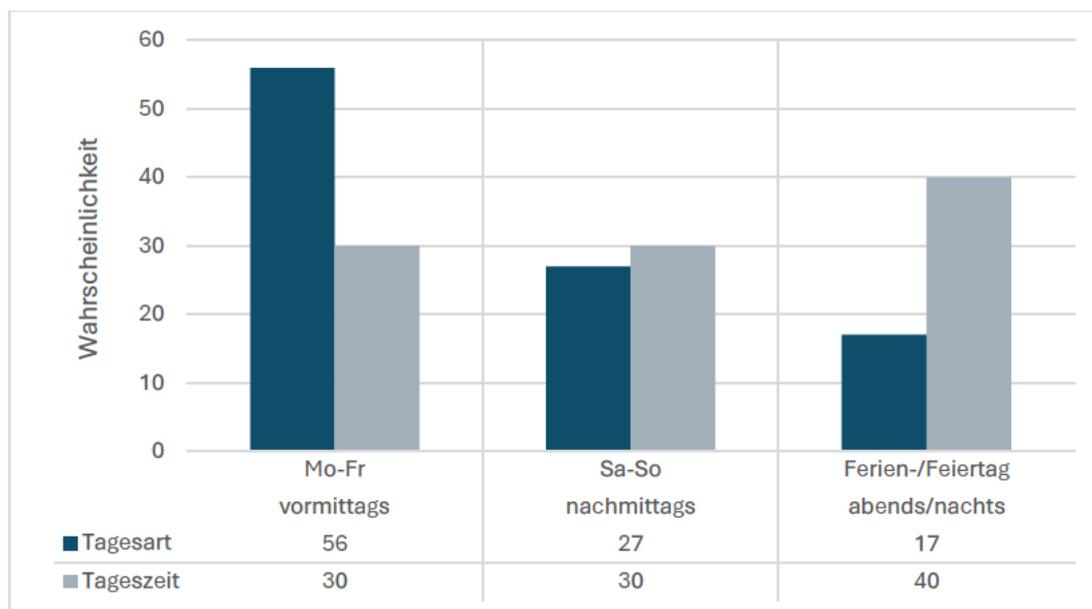


Abbildung 22: CPTs der Tagesart und -zeit

Nachdem die CPTs der Tagesart und -zeit berechnet wurden, wird der CPT der Verfügbarkeit von Freizeit ermittelt (siehe Abbildung 23). Hierbei wird entsprechend der Rangfolge (siehe Tabelle 9) agiert, die besagt, dass der Einfluss beider identisch ist. Die Kombination der Zustände ist dabei wesentlich ausschlaggebender, was die Wahrscheinlichkeit der Zustände der Verfügbarkeit von Freizeit betrifft (siehe Abbildung 12).

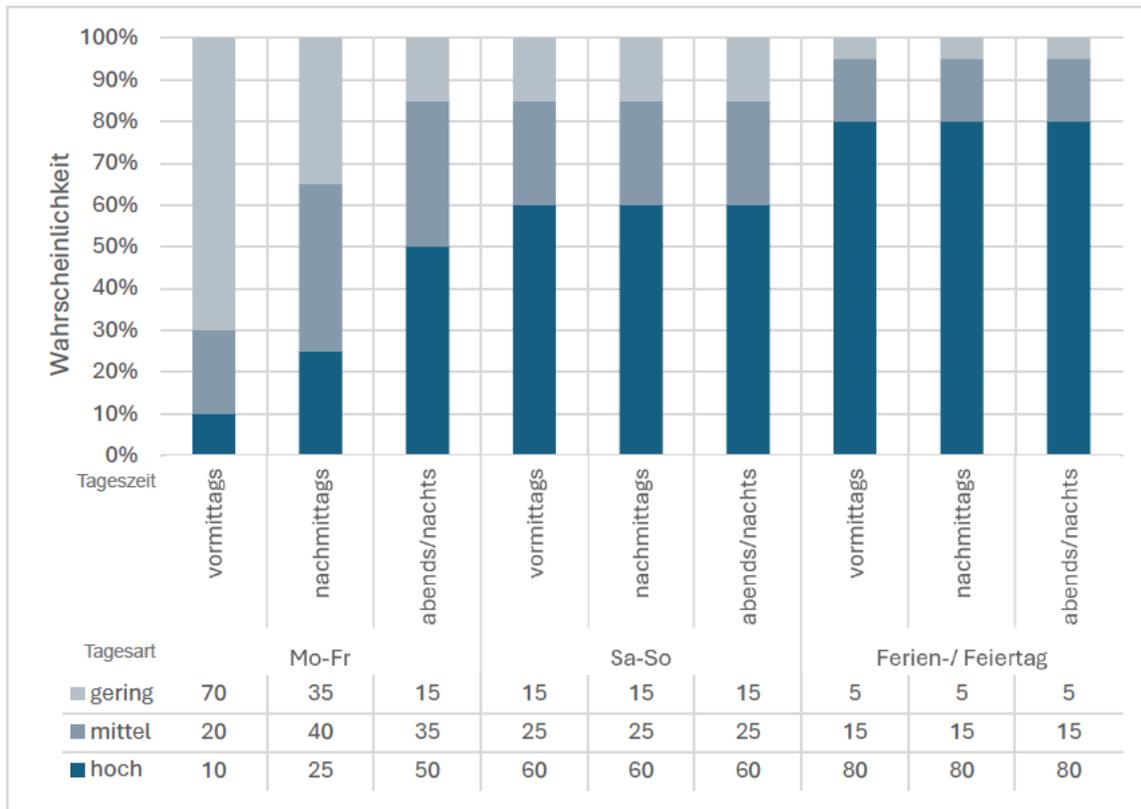


Abbildung 23: CPT der Verfügbarkeit von Freizeit

An einem Werktagvormittag kann davon ausgegangen werden, dass weniger Freizeit zur Verfügung steht als am Nachmittag. In dieser Hinsicht ist die Tageszeit ausschlaggebender als die Tagesart. An Wochenenden und an Ferien- und Feiertagen ist die Verfügbarkeit der Freizeit schon durch diese bedingt und die Tageszeit weniger relevant. Genau diese Eigenschaften spiegelt der CPT der verfügbaren Freizeit wider (siehe Abbildung 23). Dabei kann aber nie ganz ausgeschlossen werden, dass aufgrund anderer individueller Verpflichtungen die verfügbare Freizeit geringer ausfällt als zunächst angenommen.

Bevor der CPT der Freizeit ermittelt wird, wird dessen anderer Zweig, der durch das Freizeitverhalten definiert ist, betrachtet. Hierzu wird als erstes der CPT der EFs Wetter und Location bestimmt (siehe Abbildung 24). Es wird angenommen, dass öffentliche (Groß-)Veranstaltungen vermehrt Indoor (75 %) stattfinden als Outdoor (25 %). Die Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Wetterlage kann aus Klimatabellen abgeleitet werden, die angeben, wie das Wetter insgesamt in Deutschland war, und den entsprechenden Zuständen zugeordnet werden. Hiervon wird jedoch abgesehen, da die Definition und damit das Festsetzen der Zustände des Wetters auch individuell für Veranstaltungen interpretierbar bleiben sollte. Beispielsweise kann ein verschneiter Tag als schlechtes Wetter eingeordnet werden. Für einen Weihnachtsmarkt wäre dieses Wetterereignis jedoch nicht unbedingt dem Zustand schlecht zuzuordnen. Deshalb wurde das Auftreten der Wetterzustände gleichermaßen im CPT aufgeteilt.

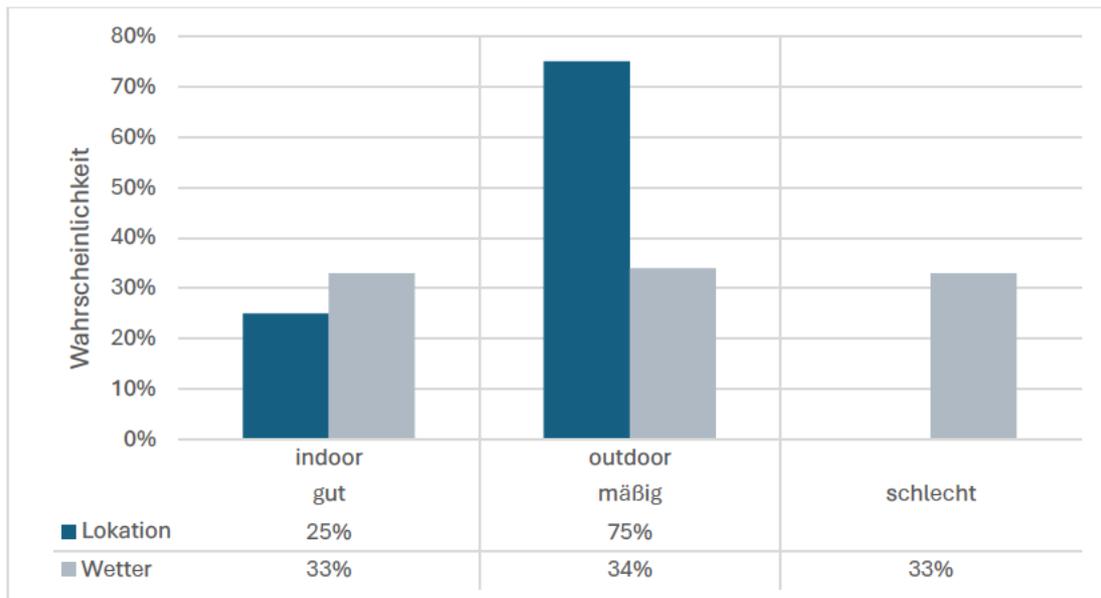


Abbildung 24: CPTs des Wetters und der Location

Nachfolgend wird der CPT für das Freizeitverhalten bestimmt (siehe Abbildung 25). Das Wetter, welches in der Tabelle 9 auf Rang 3 steht, übt einen größeren Einfluss aus als die Location, welche auf Rang 8 steht. Zudem wird unterschieden, ob eine Veranstaltung Indoor oder Outdoor stattfand.

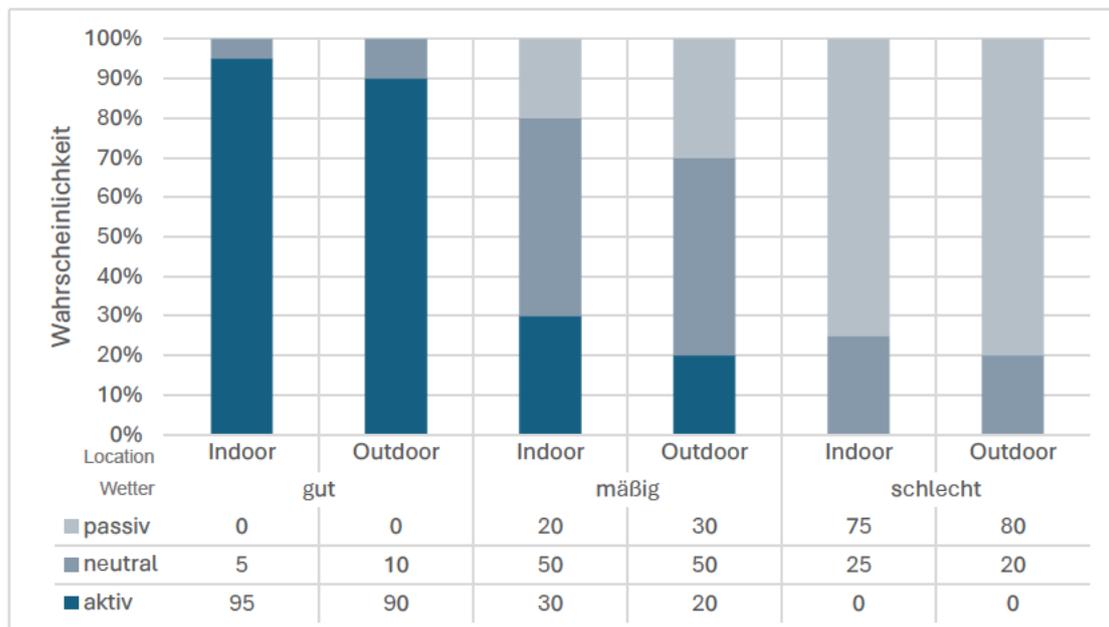


Abbildung 25: CPT des Freizeitverhaltens

Der CPT zeigt, dass bei gutem Wetter das aktive Freizeitverhalten am häufigsten auftritt, während es mit der Verschlechterung des Wetters abnimmt. Vergleicht man je nach Kategorie die Indoor- mit der Outdoor-Veranstaltung, so erkennt man, dass zwischen diesen ein Unterschied vorliegt, der zwar im Größenverhältnis zueinander geringer ausfällt, was jedoch an der zuvor definierten Rangfolge der Location liegt.

Um den Variablenzweig zu vervollständigen, erfolgt nun die Interpretation des CPT der Freizeit (siehe Abbildung 26):

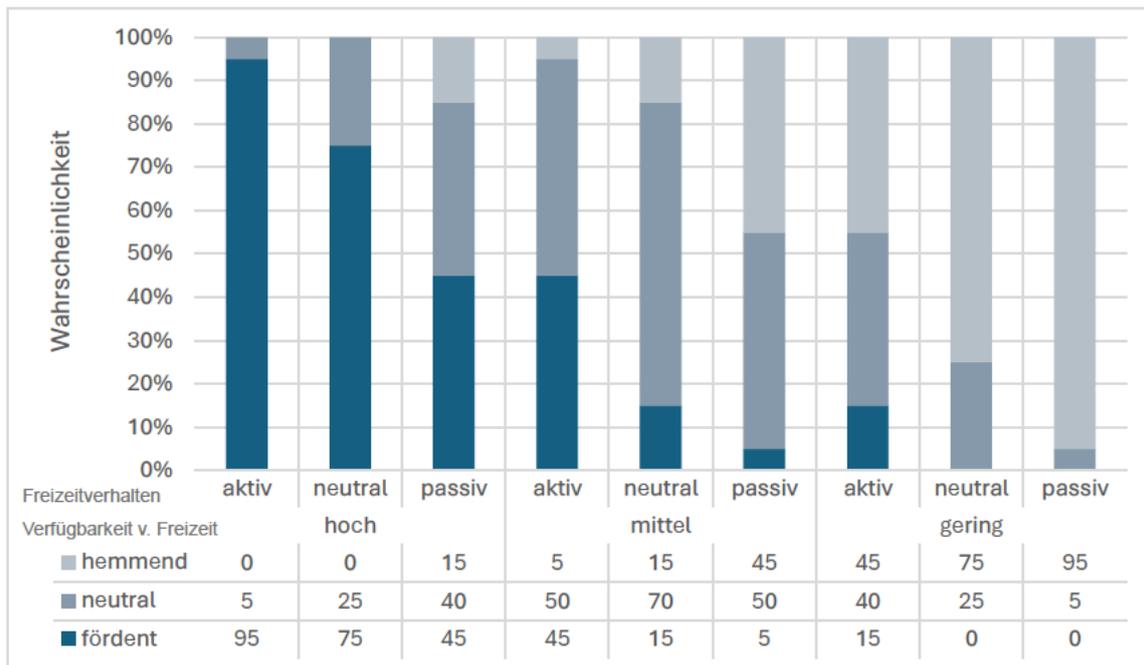


Abbildung 26: CPT der Freizeit

Das Diagramm zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit eines ausgeprägten Freizeitverhaltens von einer hohen Verfügbarkeit von Freizeit bedingt wird. Auch bei variierendem Freizeitverhalten bleibt die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Verfügbarkeit von Freizeit am größten. Bei einer geringen Freizeit entsprechen die Zustände der Verfügbarkeit von Freizeit und dem Freizeitverhalten, gering und passiv. Im mittleren Zustand der Freizeit verhalten sich die Wahrscheinlichkeiten gespiegelt. Bei einer mittleren Verfügbarkeit von Freizeit und einem ausgeprägten Freizeitverhalten liegt die Wahrscheinlichkeit der Freizeit zu 50 % bei einer mittleren Freizeit und zu 45 % bei einer hohen. Ist das Freizeitverhalten passiv, liegt die Wahrscheinlichkeit der Freizeit zu 50 % ebenfalls bei dem mittleren Zustand. Die 45 % sind jedoch dem Zustand gering zugeordnet.

CPT der örtliche Infrastruktur

Der letzte Variablenast ist der Ast, der durch die örtliche Infrastruktur beschrieben wird.

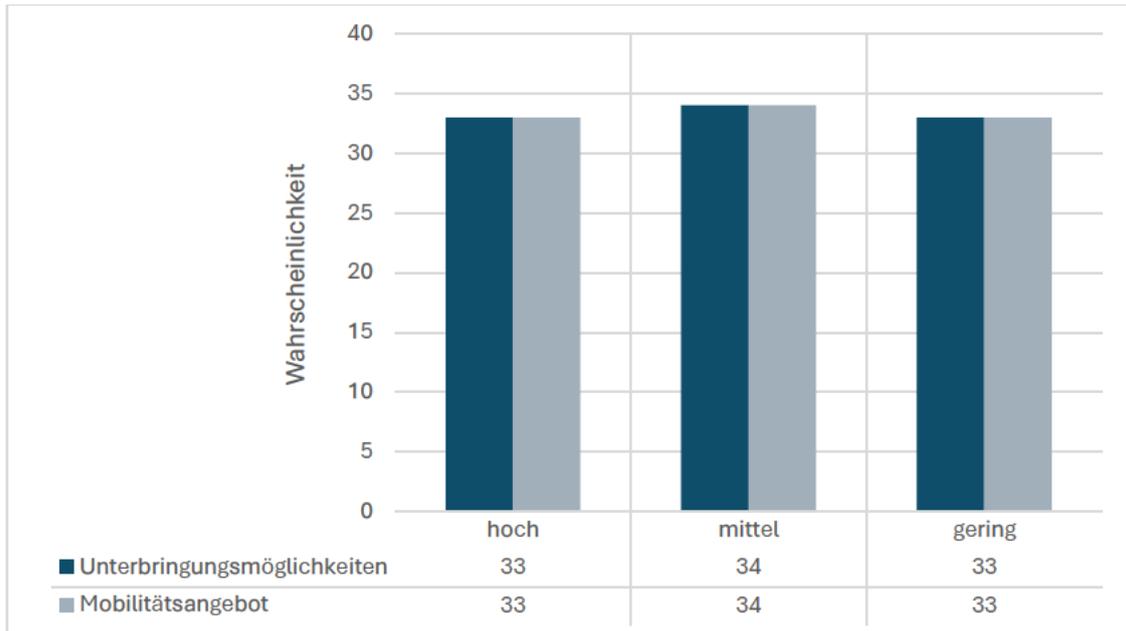


Abbildung 27: CPTs des Mobilitätsangebotes und der Unterbringungsmöglichkeiten

Es werden keine Angaben dazu gemacht, welcher der Zustände am wahrscheinlichsten eintritt, da dies anhand annahmebasierter Aussagen nicht weiter präzisiert werden kann (siehe Abbildung 27). Deshalb wird die Wahrscheinlichkeit gleichmäßig verteilt. Weiter wird der CPT der örtlichen Infrastruktur erstellt (siehe Abbildung 28).

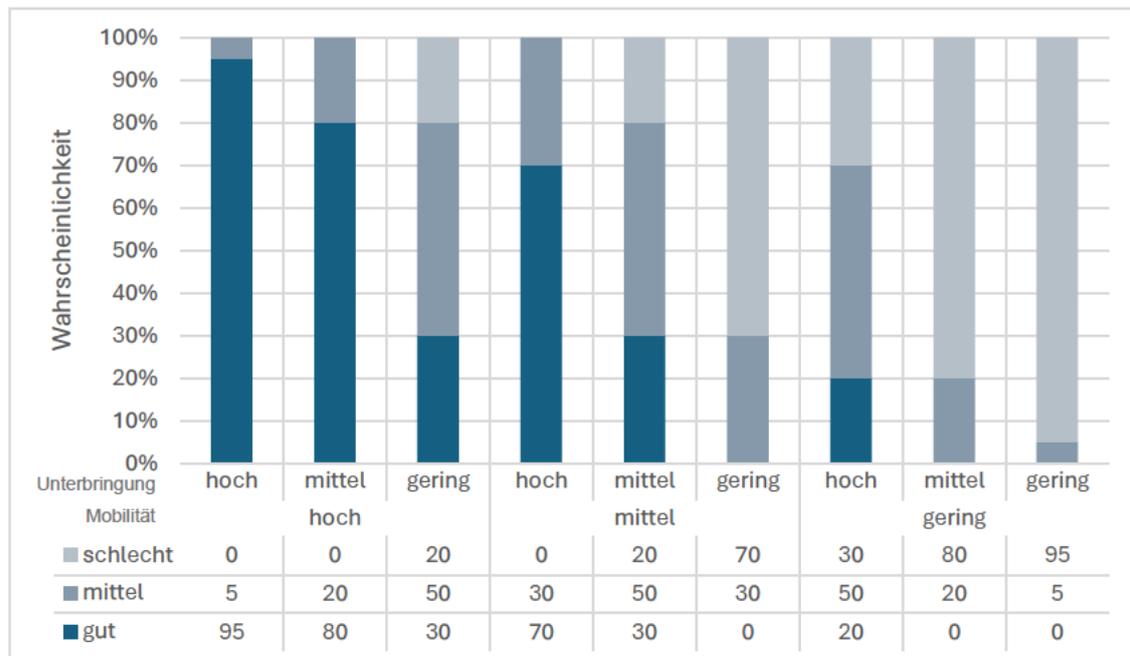


Abbildung 28: CPT der örtlichen Infrastruktur

Das Balkendiagramm verdeutlicht, wie das Mobilitätsangebot und der Unterbringungsmöglichkeiten die örtliche Infrastruktur beeinflussen. Dabei wird deutlich, dass das Mobilitätsangebot

den größeren Einfluss auf die Infrastruktur ausübt. Von links nach rechts gelesen, verhält sich das Diagramm so, dass zunächst von der Wahrscheinlichkeit ausgegangen wird, eine hohe örtliche Infrastruktur vorliegen zu haben (95 %). Weiter zeigt sich, dass die Wahrscheinlich für den Zustand gut immer weiter abnimmt. Die Stufen zwischen den Zuständen des Mobilitätsangebotes weisen einen steileren Verlauf auf als die Stufen, welche durch die Unterbringungs-möglichkeiten verursacht werden.

CPT der Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden

Der letzte CPT, der noch bestimmt werden muss, ist der für die $PAX_{max,t}$ (siehe Abbildung 29). Durch das Einbinden der HVs wirken die EFs nicht einzeln und direkt auf die $PAX_{max,t}$ ein, wodurch die Komplexität des CPTs verringert wurde und die Quantifizierung einfacher vorgenommen werden kann.

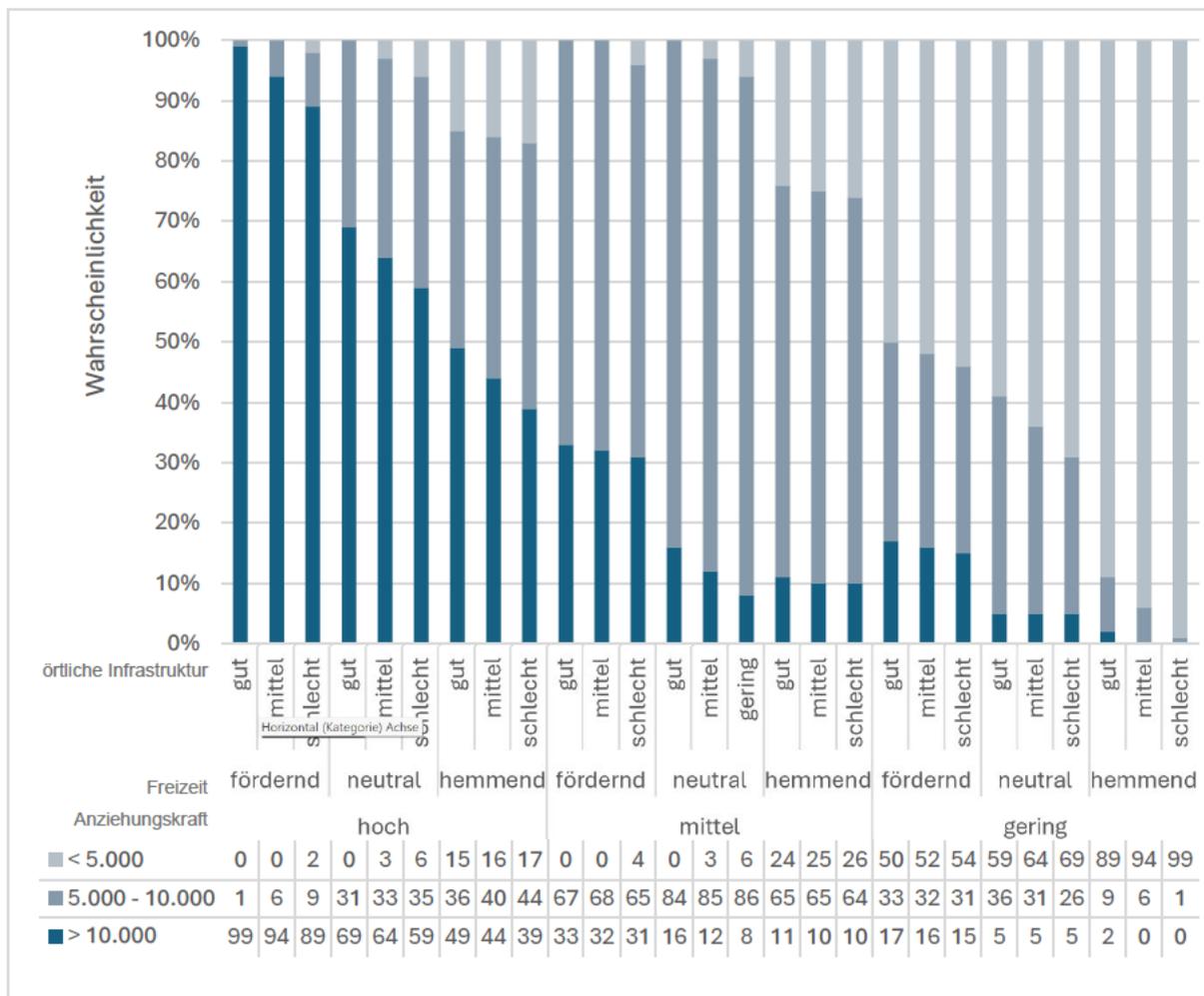


Abbildung 29: CPT der $PAX_{max,t}$

Der CPT der $PAX_{max,t}$ weist aus, dass die Anziehungskraft den größten Einfluss auf die $PAX_{max,t}$ ausübt. Den nächstgrößten Einfluss hat die Freizeit, und darauffolgend kommt die örtliche Infrastruktur. Dies spiegelt die zuvor definierte Reihenfolge wider (siehe Tabelle 8). Entsprechend weist der CPT aus, dass eine $PAX_{max,t}$ kleiner als 5 000 bei einer geringen Anziehungskraft am

wahrscheinlichsten ist. Weiter nimmt die Wahrscheinlichkeit für diesen Zustand zu, wenn die Freizeit hemmend und die örtliche Infrastruktur gering ist. Für den Zustand 5 000 bis 10 000 $PAX_{max,t}$ ist die Wahrscheinlichkeit für eine mittlere Anziehungskraft am größten, auch wenn die anderen beiden Variablen in ihren Zuständen variieren. Im Wechsel von der mittleren auf die hohe Anziehungskraft beginnen sich die Wahrscheinlichkeiten der Zustände weiter in die Richtung einer $PAX_{max,t}$ von mehr als 10 000 zu bewegen. Je zuträglicher die Freizeit und die örtliche Infrastruktur werden, desto mehr nimmt die Wahrscheinlichkeit für mehr als 10 000 $PAX_{max,t}$ zu, bis sie eine Wahrscheinlichkeit von 99 % erreicht.

Das abschließende BBN, das anhand der hier definierten CPTs fungiert, ist in Anhang III abgebildet.

4.2.3 Funktionsweise des Bayesian Belief Networks

Nachfolgend soll die Funktionsweise des erstellten BBNs (siehe Anhang III) anhand eines Beispiels erläutert werden. Hierzu wird eine Veranstaltung bei festgestellten EF untersucht, bei der nur zwei dieser EFs variiert werden.

Bei der Veranstaltung handelt es sich um eine Sportveranstaltung unter freiem Himmel, welche drei Tage dauert. Zeitgleich findet eine andere Veranstaltung ohne thematische Überschneidungen statt. Das Marketing der Veranstaltung ist als mittel eingestuft worden, ebenso die örtliche Infrastruktur der Veranstaltungsumgebung in der Mobilität und Unterbringung. Zu dem Zeitpunkt, zu dem mit der $PAX_{max,t}$ gerechnet wird, ist ein Samstagvormittag und ein entsprechender Programmpunkt findet statt. Die beiden variierenden EF sind in der Betrachtung das Wetter und der gesellschaftliche Stellenwert. Hierbei lautet die Fragestellung, mit welcher $PAX_{max,t}$ zu rechnen ist und ob die Besuchenden trotz schlechten Wetters aufgrund des gesellschaftlichen Stellenwertes, der beispielsweise durch eine prominente Person begünstigt wird, sich abhalten lassen, zu der Veranstaltung zu gehen, oder ob die Besuchenden dem Einfluss des Wetters eher widerstehen und dennoch zum Veranstaltungsprogramm mit dem gesellschaftlichen Stellenwert gehen.

Entsprechend der Beschreibung ergibt sich anhand der neuen Evidenzen aus zuvor erstellten BBN (siehe Anhang III) folgendes aktualisiertes BBN (siehe Abbildung 30):

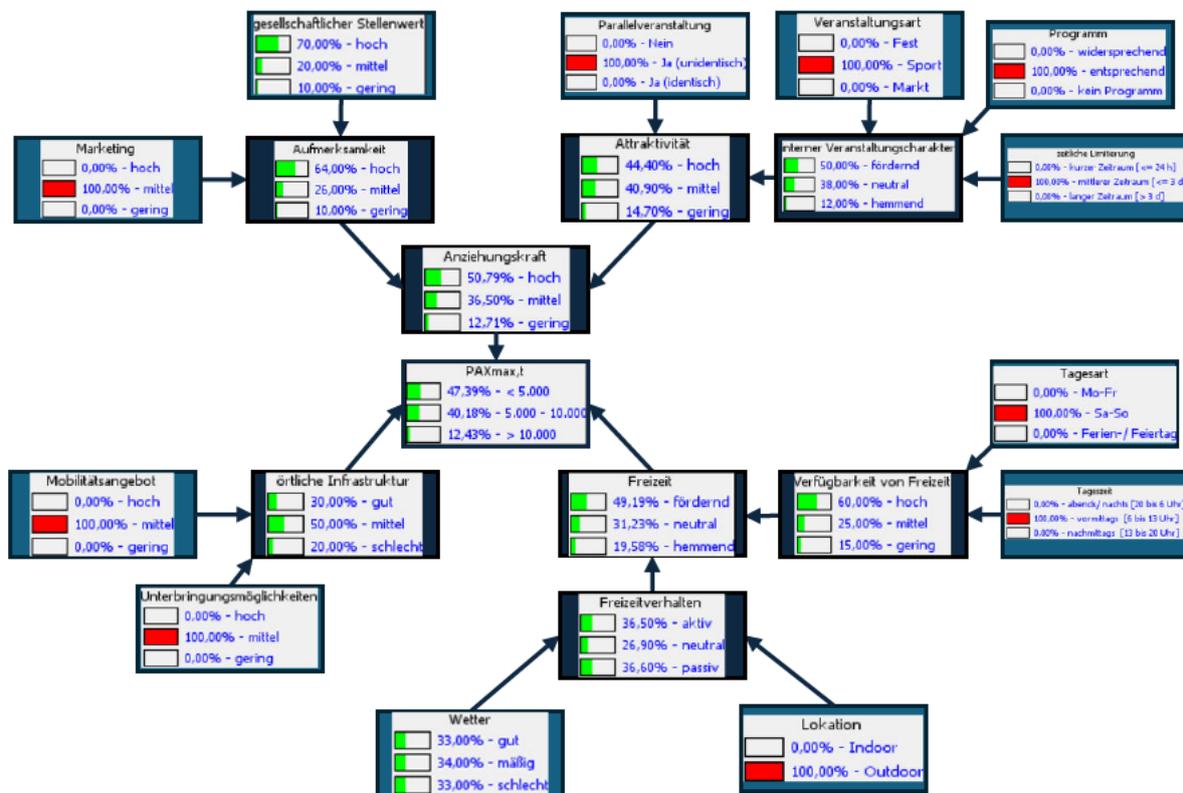


Abbildung 30: BBN bei festgesetzten Zuständen und freiem gesellschaftlichen Stellenwert und Wetter

Abbildung 30 lässt erkennen, dass sich die bedingten Wahrscheinlichkeiten der HV und der Zielvariable bereits der neuen Evidenzen durch die festgesetzten Zustände angepasst haben. Dieser Kaskadeneffekt wurde in Kapitel 3.2.3 genauer beschrieben.

Entsprechend den Voreinstellungen werden für das BBN der gesellschaftliche Stellenwert und das Wetter entsprechend den möglichen Kombinationen ihrer Zustände variiert. Durch die neuen Evidenzen treten Änderungen entlang ihrer Beziehungsrichtungen auf, wodurch nur noch die Darstellung dieses Pfades benötigt wird (siehe Abbildung 31).

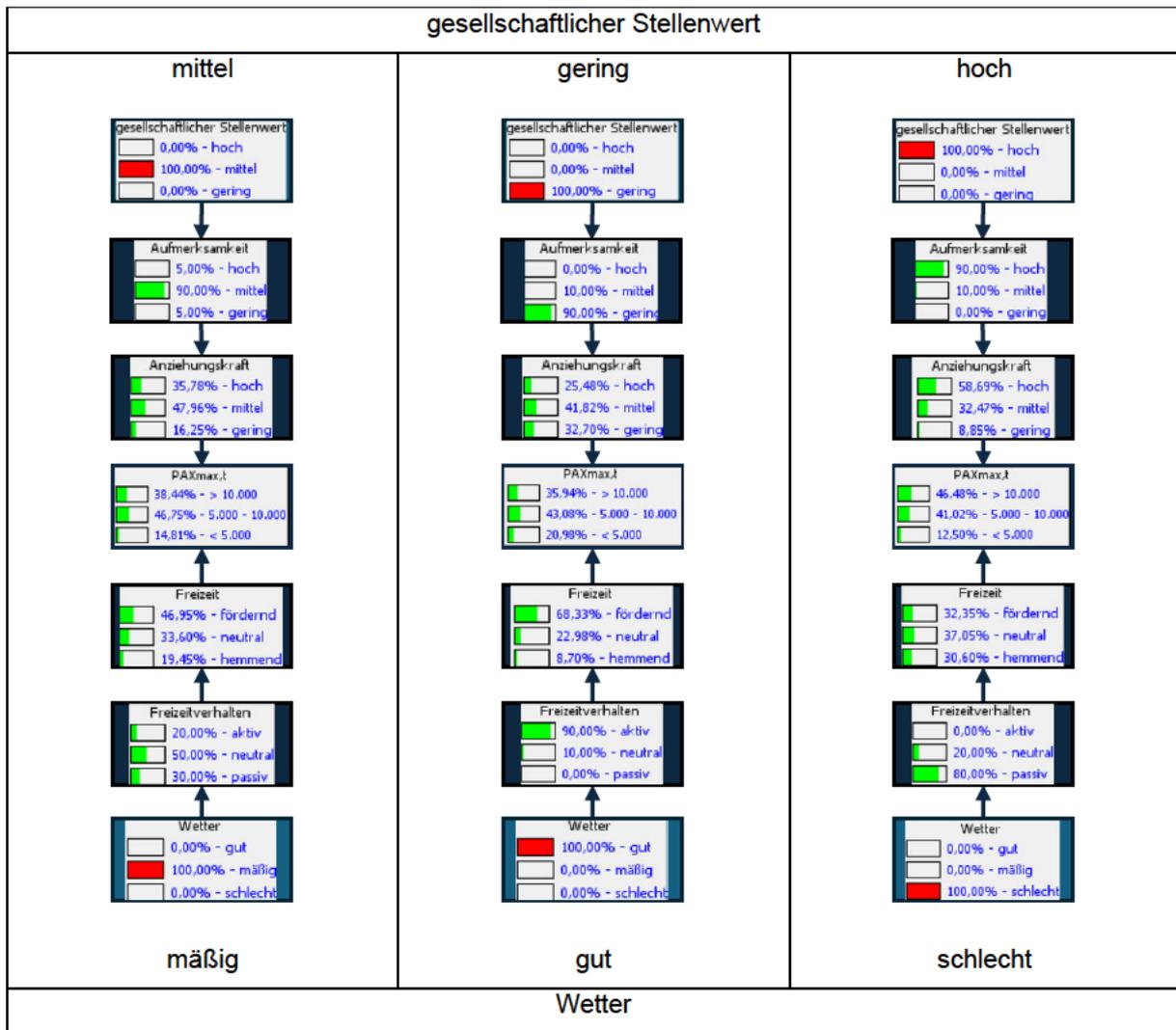
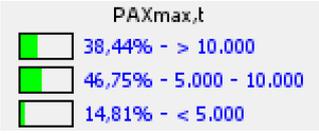
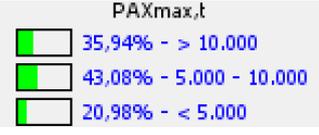
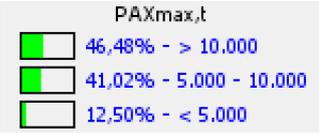


Abbildung 31: BBN-Teilausschnitt bei variierenden Wahrscheinlichkeitszuständen des gesellschaftlichen Stellenwerts und des Wetters

Entsprechend der zuvor definierten CPTs (siehe Kapitel 4.2.2) verändern sich mit der neuen Evidenz die bedingten Wahrscheinlichkeiten entlang seiner Beziehungen. Somit lassen sich die Werte der beiden HVs Aufmerksamkeit und Freizeitverhalten direkt aus dem CPT (siehe Abbildung 20 und Abbildung 25) erkennen. Beim Fortschreiten der Beziehungskette ergeben sich berechnet durch den Satz von Bayes (siehe Kapitel 3.2.1) die weiteren bedingten Wahrscheinlichkeiten.

Extrahiert aus den aktualisierten BBNs (siehe Abbildung 31) ergeben sich für die Zustände der PAX_{max,t} nachfolgend die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten unter Berücksichtigung des Zustandes des gesellschaftlichen Stellenwertes und des Wetters (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: *Wahrscheinlichkeiten der $PAX_{max,t}$ bei variierendem Wetter und gesellschaftlichem Stellenwert*

Evidenz		bedingte Wahrscheinlichkeit
Wetter	Gesellschaftlicher Stellenwert	$PAX_{max,t}$
mäßig	mittel	<div style="text-align: center;"> $PAX_{max,t}$  <p>38,44% - > 10.000 46,75% - 5.000 - 10.000 14,81% - < 5.000</p> </div>
gut	gering	<div style="text-align: center;"> $PAX_{max,t}$  <p>35,94% - > 10.000 43,08% - 5.000 - 10.000 20,98% - < 5.000</p> </div>
schlecht	hoch	<div style="text-align: center;"> $PAX_{max,t}$  <p>46,48% - > 10.000 41,02% - 5.000 - 10.000 12,50% - < 5.000</p> </div>

Aus den Wahrscheinlichkeiten der Zustände der $PAX_{max,t}$ lässt sich erkennen, dass die beiden Zustände größer als 10 000 und 5 000 bis 10 000 Besuchende bei einem hohen gesellschaftlichen Stellenwert und schlechtem Wetter am größten sind und davon ausgehend mehr als 10 000 $PAX_{max,t}$ der größte Wert ist. Umgekehrt: Bei gutem Wetter und einem geringen gesellschaftlichen Stellenwert sind diese beiden Zustände auch am naheliegendsten, jedoch verschiebt sich die Wahrscheinlichkeit hier Richtung 5 000 bis 10 000 $PAX_{max,t}$. Aus den Wahrscheinlichkeiten lässt sich schließen, dass trotz des schlechten Wetters Besuchende auf der Veranstaltung eher erscheinen, wenn die Anziehungskraft durch den gesellschaftlichen Stellenwert hoch genug ist.

4.2.4 Sensitivitätsanalyse des Bayesian Belief Networks

Nachfolgend wird anhand eines Beispiels aus dem BBN eine (Evidenz-)Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die grundlegenden Erläuterungen zur Sensitivitätsanalyse sind in Kapitel 3.2.5 wiedergegeben.

Für die Evidenz-Sensitivitätsanalyse wurde sich aufgrund der einfachen Umsetzung und damit einhergehend der direkt erkennbare Vergleich gewählt. Für die hier durchgeführte Evidenz-Sensitivitätsanalyse werden die einzelnen Änderungen der Evidenzen der EFs beim Zustand größer als 10 000 $PAX_{max,t}$ betrachtet. Die Evidenzen der EFs werden dazu unabhängig voneinander auf 100 % gesetzt und die Änderung an der $PAX_{max,t}$ dokumentiert (siehe Tabelle 13):

Tabelle 13: Sensitivitätsanalyse

Einflussfaktoren	Änderung			Änderung der PAX _{max,t} (> 10.000)		
	Anfangswert	Endwert	Δ	Anfangswert	Endwert	Δ
gesellschaftlicher Stellenwert (hoch)	70	100	30	44,77	49,26	4,49
Veranstaltungsart (Fest)	50	100	50	44,77	48,85	4,08
Wetter (gut)	33	100	67	44,77	50,41	5,64
Tagesart (Ferien-/Feiertag)	56	100	44	44,77	51,33	6,56
Tageszeit (abends/nachts)	40	100	60	44,77	47,48	2,71
zeitliche Limitierung (<= 24 h)	25	100	75	44,77	48,08	3,31
Marketing (hoch)	30	100	70	44,77	45,59	0,82
Programm (widersprechend)	45	100	55	44,77	45,71	0,94
Parallelveranstaltung (nein)	33	100	67	44,77	47,67	2,90
Location (Indoor)	25	100	75	44,77	45,25	0,48
Mobilitätsangebot (hoch)	33	100	67	44,77	46,78	2,01
Unterbringungsmöglichkeiten (hoch)	33	100	67	44,77	46,77	2,00

Die absoluten Änderungen aus Tabelle 13 müssen noch in Relation zueinander gesetzt werden, um die prozentuale Änderung zu erhalten. Anhand dieser Werte können dann die Änderungen der unterschiedlichen EF in ein Verhältnis zueinander gesetzt, um besser verglichen zu werden (siehe Abbildung 32).

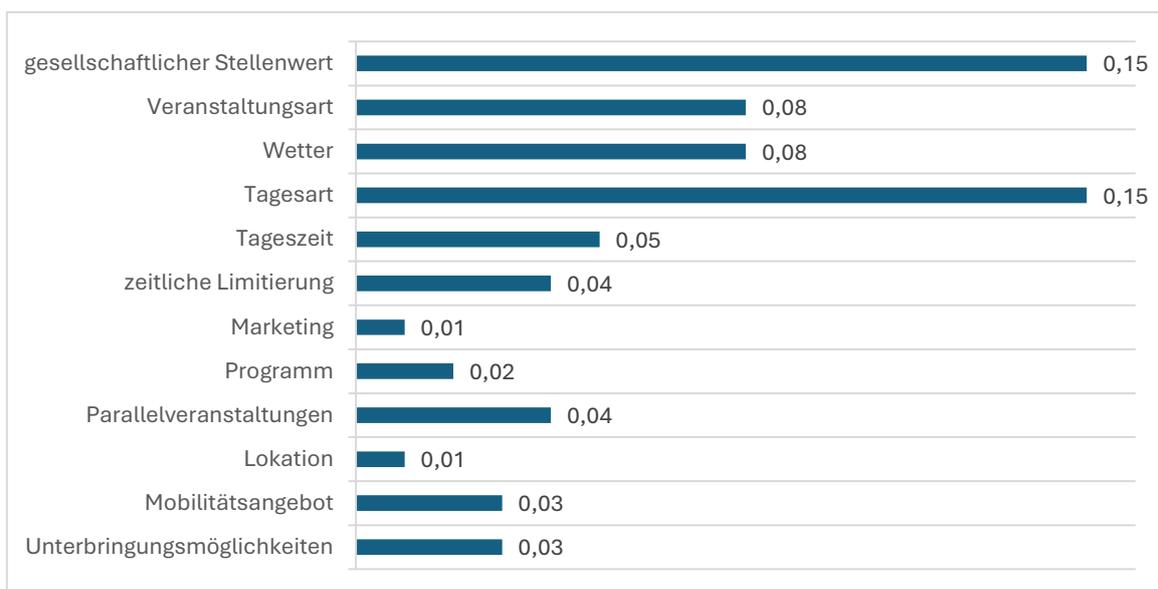


Abbildung 32: Sensitivitätsanalyse

Die EFs mit einem großen Einfluss sind entsprechend der Abbildung 32 und Tabelle 13 der gesellschaftliche Stellenwert und die Tagesart. Einen mittleren Einfluss üben die Veranstaltungsart, das Wetter und die Tageszeit aus. Von den restlichen EFs geht ein geringer Einfluss auf die $PAX_{\max,t}$ aus.

Vergleicht man die Rangfolge, die sich aus den Werten aus der Abbildung 32 ergibt, mit der in Tabelle 9 definierten Rangfolge, wird ersichtlich, dass diese nicht übereinstimmen. Als mögliche Ursachen dafür wäre naheliegend, dass die bedingten Wahrscheinlichkeiten in den CPTs die Rangfolge nicht wiedergeben. Dies kommt besonders dann vor, wenn keine evidenzbasierten Daten zum Verarbeiten vorliegen. Die CPTs müssten entsprechend der Rangfolge nachjustiert werden, um diese gesamtheitlich widerzuspiegeln.

Im Hinblick auf die EFs, deren Wechselwirkungen miteinander ausschlaggebend für die $PAX_{\max,t}$ ist, sollte eine Multi-Parameter-Sensitivitätsanalyse erfolgen, um das Ausmaß dieser gemeinsamen Änderung darzustellen. Dies trifft beispielsweise für die EFs Tagesart und Tageszeit zu.

Weiterführend kann die Sensitivitätsanalyse auch hinsichtlich der Änderungen der beiden verbleibenden Zustände der $PAX_{\max,t}$ erfolgen oder auch für die Parameter der HV.

5 Zusammenfassung

Die Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden ($PAX_{max,t}$) auf einer (öffentlichen) Veranstaltung wird in der Planung vieler Bereiche der Veranstaltung berücksichtigt. In der Veranstaltungssicherheit wirkt sich diese beispielsweise auf die Kapazitätsplanung des Sicherheits- und Ordnungsdienstes sowie des Sanitätsdienstes aus. Die Anforderungen an die Rettungswege, die Größe der Veranstaltungsfläche, die Personenströme und das Mobilitätsangebot müssen ausgehend der $PAX_{max,t}$ geprüft werden und ggf. daraus resultierend Kompensationsmaßnahmen erfolgen, um die Sicherheit der Besuchenden zu wahren. Zudem wird anhand der $PAX_{max,t}$ abgeleitet, ob die Veranstaltung genehmigungsfrei ist, mit den (Sicherheits-)Behörden abgesprochen werden muss oder einem Genehmigungsverfahren unterliegt.

Für die Ermittlung der $PAX_{max,t}$ gibt es jedoch kein einheitliches Rechenverfahren, anhand dessen der Wert annähernd prognostiziert werden kann. Zur Annäherung an einen Wert, der die $PAX_{max,t}$ wiedergeben soll, werden Referenzwerte verwendet, die von der veranstaltenden Organisation bzw. Person und ggf. von Sicherheitsbehörden jedes Mal von neuem geschätzt werden. Bei diesem Verfahren kann es vorkommen, dass die Referenzwerte nicht zuverlässig sind und subjektive Einflüsse die Schätzung verzerren.

Der im Kontext dieser Bachelorarbeit erstellte Prototyp eines Bayesian Belief Network (BBN) soll die erwartbare Größenordnung der $PAX_{max,t}$ auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen prognostizieren, um festzustellen, ob sich diese statistische Methode für die Thematik eignet.

Bei der Erstellung des Prototyps wurden zunächst die statistischen Eigenschaften des BBNs beleuchtet und aufbauend darauf die Einflussfaktoren (EF) auf die $PAX_{max,t}$ anhand der allgemeinen Eigenschaften einer Veranstaltung identifiziert. Daraufaufgehend wurden die Beziehungen definiert und die Wahrscheinlichkeiten quantifiziert, woraus schließlich der Prototyp des BBNs erstellt wurde. Die Herausforderung bestand darin, die EF und deren Beziehungen zur identifizieren oder die Wahrscheinlichkeiten anhand der wenigen vorhandenen evidenzbasierten Daten zu quantifizieren. Daher wurde mit annahmebasierten Aussagen gearbeitet.

Anhand des BBNs können die Wahrscheinlichkeiten für die zuvor definierten Intervalle der $PAX_{max,t}$ für (Groß-)Veranstaltungen mit ihren diversen unterschiedlichen Parametern prognostiziert werden. Für ein finales BBN zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$ werden mehr Daten benötigt, die das BBN ergänzen und dessen Genauigkeit verbessern. Zudem kann von der Grundstruktur des Prototyps abgewichen werden, um das BBN anzupassen, indem beispielsweise EFs hinzugefügt oder entfernt werden. Auch die Zustände der EFs können in dem Prozess weiter definiert werden.

6 Fazit und Ausblick

Zur Ermittlung der $PAX_{max,t}$ auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung wurde auf die Erstellung eines BBNs zurückgegriffen. Anhand eines BBNs ist es möglich, aus bedingten Wahrscheinlichkeiten die Eintrittswahrscheinlichkeiten einer Zielvariable zu bestimmen. Richtig in Relation gebracht und anhand von Daten oder auch Erfahrungswerten können die Wahrscheinlichkeiten präzise ermittelt werden.

Der hier in der Bachelorarbeit erstellte Prototyp eines BBNs kann dazu verwendet werden, um Anhand der EFs und der zwischengesetzten HVs die erwartbare Größenordnung der $PAX_{max,t}$ zu prognostizieren. Die Struktur des BBNs kann dabei noch weiter angepasst oder komplett neu erstellt werden, falls erforderlich.

EFs können neu gewählt, hinzugefügt oder entfernt werden. So lasse sich beispielsweise die bereits bestehende EF weiter aufschlüsseln und durch weitere EFs beschreiben. Zum Beispiel wird der gesellschaftliche Stellenwert durch die Wahl einer prestigeträchtigen Location, dem Einfluss eines Künstlers als Hauptauftritt auf der Veranstaltung oder durch weitere Einflüsse auf den generellen gesellschaftlichen Stellenwert beschrieben. Aber auch die Zustände der EF lassen sich weiter spezifizieren. Beispielsweise durch dezidieren der Intervalle der $PAX_{max,t}$ oder die der Veranstaltungsart, die bei der Entwicklung des Prototyps vereinfacht wurden. Zudem ist es möglich, auch entsprechend der Änderungen der EFs deren Beziehungen untereinander anzupassen. Hierbei sollte jedoch darauf geachtet werden, die EF zielführend, hinsichtlich der Ermittlung der $PAX_{max,t}$ zu setzen. Die Wahrscheinlichkeiten, die mittels der CPTs beschrieben werden, sollten grundsätzlich überarbeitet und anhand zusätzlicher Daten und Erfahrungswerten präzisiert werden. Dabei kann schon mit der Überarbeitung der Rangfolge der Variablen begonnen werden. Zudem sollte in dem Rahmen eine vollumfängliche Sensitivitätsanalyse erfolgen.

Die fehlenden Daten bzw. Erfahrungswerte stellen den Baustein im BBN dar, der noch benötigt wird, um die Aussagekraft zu untermauern und das BBN als Prognosemethode in der Realität anwendbar zu machen. Zum einen können dazu Erfahrungswerte von Experten eingebunden werden und zum anderen Daten aus Erhebungen zur Personenzahl der Besuchenden auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen unter der Berücksichtigung der Parameter des BBNs. Diese Daten gilt es zum jetzigen Zeitpunkt teilweise noch zu erheben, zusammenzuführen, zu analysieren und anschließend in das BBN zu implementieren.

Für die gesamten Arbeitsschritte, die zur Erstellung eines solchen BBNs benötigt werden, erfordert es einen großen Zeitaufwand, da Kanten sowie Knoten zunächst identifiziert und richtig in Verbindung gesetzt werden müssen. Aber vor allem das Bestimmen der CPTs und die darauffolgende Sensitivitätsanalyse tragen zu dem großen Zeitaufwand bei. Er lässt sich mittels

dieser Bachelorarbeit verringern, wenn die Vorüberlegungen und der erstellte Prototyp zur Erstellung des BBNs herangezogen wird. Steht das BBN erst einmal, kann dieses auf alle weiteren (Groß-)Veranstaltungen angewendet werden, ohne die gesamten CPTs neu bestimmen zu müssen. Es werden nur die neuen Evidenzen benötigt, die im BBN die Wahrscheinlichkeiten anpassen.

Wenn die genaue Prognose der Intervalle der $PAX_{max,t}$ daraufhin möglich ist, kann anhand der $PAX_{max,t}$ abgeleitet werden, ob die Veranstaltung genehmigungspflichtig ist, und Planungssicherheit geschaffen werden. Im Bereich der Veranstaltungssicherheit betrifft dies die Kapazitätsplanung des Sicherheits- und Ordnungsdienstes, des Sanitätswachdienstes und weitere Maßnahmen zum Crowdmanagement oder zur Erweiterung des Mobilitätsangebotes. Daraus ergeben sich aufgrund der Überschneidungen der Bereiche weitere Planungen.

Neben der primären Funktion, die $PAX_{max,t}$ zu prognostizieren, ist es möglich festzustellen, ob es sich bei der Veranstaltung um eine (Groß-)Veranstaltung handelt. Zudem wäre es denkbar, die Anzahl an Besuchenden zu weiteren Zeitpunkten der Veranstaltung zu prognostizieren, abgeleitet von den zu diesem Zeitpunkt herrschenden Zuständen. Anhand ihres Vergleichs ließe sich jener Moment auf der Veranstaltung bestimmen, an dem voraussichtlich die $PAX_{max,t}$ vorliegt.

Weiter zu bedenken ist die Anwenderfreundlichkeit bei einem fertiggestellten BBN, damit es auch von Personen ohne Fachkenntnisse in der Statistik richtig angewandt werden kann. Denkbar wäre, ähnlich wie bei der Bemessung des Sanitätswachdienstes auf Veranstaltungen, mit einem Formular die Evidenzen abzufragen, welche dann im Hintergrund in das BBN eingespeist werden. Bei den ausgegebenen aktualisierten Wahrscheinlichkeiten der $PAX_{max,t}$ könnte daraufhin noch eine kurze Interpretation der Werte ausgegeben werden. Denkbar wäre auch eine Kurzanleitung, die Hilfestellungen bei der Wahl der Evidenz der EFs und dem Outcome der Anwendung gibt.

Literatur

- Bachmeier, Peter, Thomann, Johannes & Vosteen, Dennis 2015. *Leitfaden für Feuerwehr, Sicherheitsbehörde und Polizei sowie Veranstalter und deren Sicherheitsdienstleister*. 3. Auflage Landeshauptstadt München Kreisverwaltungsreferat Branddirektion, hg. München.
- Berlin 2006. *Allgemeines Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Berlin zuletzt geändert durch § 2 des Gesetzes vom 27.06.2024*.
- Charniak, Eugene 1991. Bayesian Networks without Tears. *AI Magazine* 12, 4, 50–63.
- DESTATIS Statistisches Bundesamt 2024. *Ergebnisse zur Zeitverwendung in Deutschland 2022*. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Zeitverwendung/Ergebnisse/_inhalt.html#805170 [Stand 2025-01-31].
- DESTATIS Statistisches Bundesamt 2022. *Statistischer Bericht - Erhebung zur Zeitverwendung privater Haushalte - 2022 (korrigierte Fassung vom 28.03.2024) - Statistisches Bundesamt*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Zeitverwendung/Publikationen/Downloads-Zeitverwendung/statistischer-bericht-zeitverwendung-priv-haushalte-5639102229005.html> [Stand 2025-02-6].
- Ertel, Wolfgang 2016. *Grundkurs Künstliche Intelligenz Eine praxisorientierte Einführung*. 4. Auflage Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2002. *Musterbauordnung zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 23./24.11.2023*.
- Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2005. *Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014*.
- Fahrmeir, Ludwig u. a. 2023. *Statistik Der Weg zur Datenanalyse*. 9. Auflage Berlin: Springer Spektrum.
- Gerlach, Christian-Tobias u. a. 2014. Sicherheitsplanung, Risikobewertung, Genehmigungsverfahren. In J. Schreiber, hg. *Sicherheit und Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen*. Ede- wecht: Stumpf+Kossendey, 112–259.
- Hansestadt Hamburg 1966. *Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung (SOG) letzte berücksichtigte Änderung vom 16. April 2024*.
- Hessisches Ministerium des Innern und für Sport 2013. *Leitfaden „Sicherheit bei Großveranstaltungen“*. Wiesbaden.
- Jensen, Finn Verner 2001. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. New York: Springer.
- Ministerium des Inneren und für Sport Rheinland-Pfalz 2023. *Auslegungshinweise zu § 26 POG*.
- Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2012. *Orientierungsrahmen des Ministeriums für Inneres und Kommunales NRW für die kommunale Planung, Genehmigung, Durchführung und Nachbereitung von Großveranstaltungen im Freien*.
- Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen 2021. *Orientierungsrahmen des Ministeriums für Inneren NRW für die kommunale Planung, Genehmigung,*

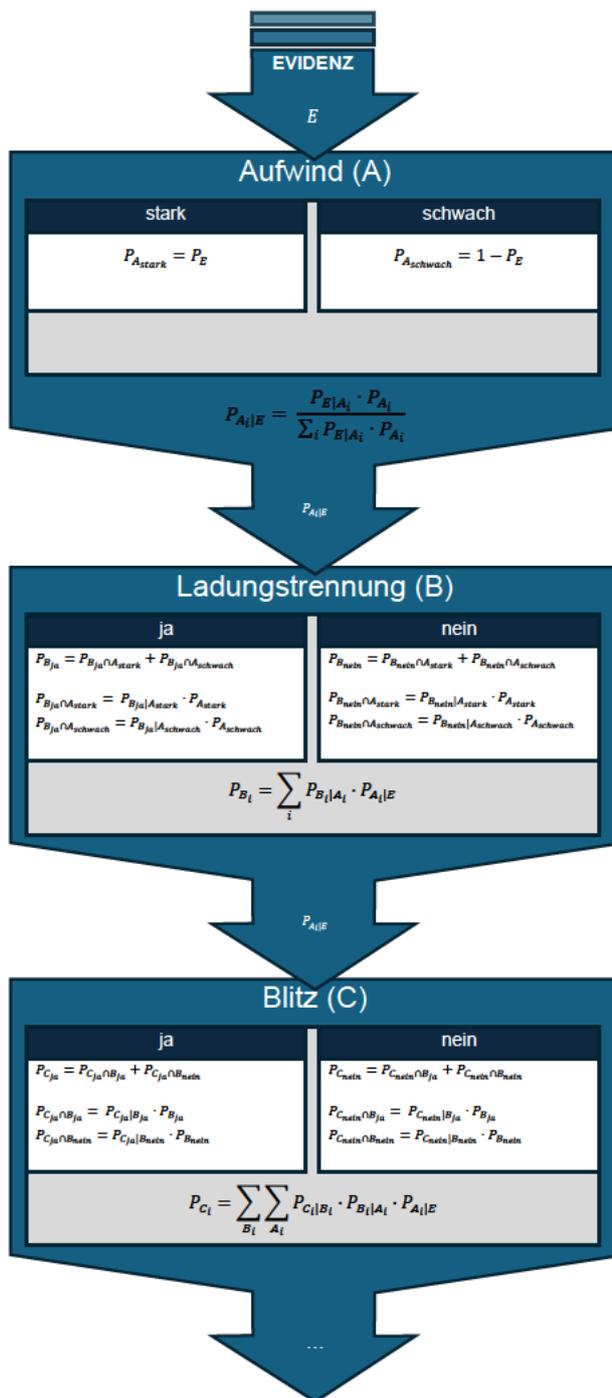
Durchführung und Nachbereitung von Veranstaltungen im Freien mit erhöhtem Gefährdungspotential. 2. Auflage

- Regele, Ulrike 2011. *Sonne und Reiseverhalten*. Fakultät Wirtschaftswissenschaften. LEUPHANA Universität Lüneburg, Lüneburg.
- Reynolds, Douglas A 2009. Gaussian Mixture Models. *Encyclopedia of biometrics* 741, 659–663, .
- Rheinland-Pfalz 2024. *Polizei- und Ordnungsbehördengesetz (POG) in der Fassung vom 10. November 1993 §26 Gefahrenvorsorge und Gefahrenabwehr bei öffentlichen Veranstaltungen unter freiem Himmel*. Bd. Rheinland-Pfalz,
- Sakschewski, Thomas u. a. 2019. *Sicherheitskonzepte für Veranstaltungen*. 3. Auflage DIN Deutsches Institut für Normung e.V., hg. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Schmidt, Jörg 2010. Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen. In T. Luiz u. a., hg. *Medizinische Gefahrenabwehr*. München: Urban & Fischer, 417–427.
- Speiser, Ambros P. 1999. Wenn Blitze züngeln und der Donner grollt. *Physik in unserer Zeit* 5, 30, 211–215.
- Statista 2023. *Anzahl Feiertage Bundesländer Vergleich 2024*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2292/umfrage/anzahl-der-gesetzlichen-feiertage-in-deutschland-nach-bundeslaendern/> [Stand 2025-01-17].
- Statista 2020. *Urlaubstage in Deutschland nach Bundesländern 2020*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/886359/umfrage/urlaubstage-in-deutschland-nach-bundeslaendern/> [Stand 2025-01-17].
- Zimmermann, Karl-Heinz 2022. *Das Hidden-Markov-Modell*. Heidelberg: Springer Spektrum Berlin.

Anhang I: Theoretische Beispiele der Beziehungsarten

Für die zwei Beziehungsarten, seriell und divergent, soll im Folgenden die Anwendung des Satz von Bayes und die Wahrscheinlichkeitsberechnung am Beispiel von vereinfacht dargestellten Wetterereignissen in einem Teilausschnittes eines BBNs erbracht werden. Das Beispiel zur konvergenten Beziehung ist in Kapitel 3.2.3 wiederzufinden.

Seriell



Die serielle Beziehung wird anhand der Entstehung von Blitzen veranschaulicht. Ein Blitz ist ein Lichtbogen, der durch ein elektrisches Feld innerhalb eines Cumulonimbus (Gewitterwolke) ausgelöst wird. Das elektrische Feld, welches durch eine Ladungstrennung von negativen und positiven Teilchen entsteht, wird durch die Reibung zwischen Graubelteilchen und Eiskristallen hervorgerufen, die durch das Abkühlen der durch starke Aufwinde eingebrachter warmer und feuchter Luft entsteht (Speiser 1999:212).

Die Evidenz bringt neue Erkenntnisse in das System ein, beispielsweise durch Beobachtungen des Aufwinds. Diese neue Evidenz wird als spezifisch für die Zustände des Aufwinds (Variable A) angenommen. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit der beiden Zustände stark und schwach direkt durch die Evidenz bestimmt.

Die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit von A wird mittels des Satz von Bayes für die Weiterberechnung der Wahrscheinlichkeiten von der Ladungstrennung (Variable B) und dem Blitz (Variable C) verwendet. Hierzu wird die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit von A zur A-Priori-Wahrscheinlichkeit für P_B .

Die Wahrscheinlichkeiten der Ladungstrennung

P_{B_i} wird durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten des Aufwinds ($P_{A_{stark}}$ und $P_{A_{schwach}}$)

beeinflusst. Dadurch entstehen die unter den Zuständen in Formelsprache beschriebenen Abhängigkeiten. Die können mittel Aufsummierung in eine Formel zusammengefasst werden.

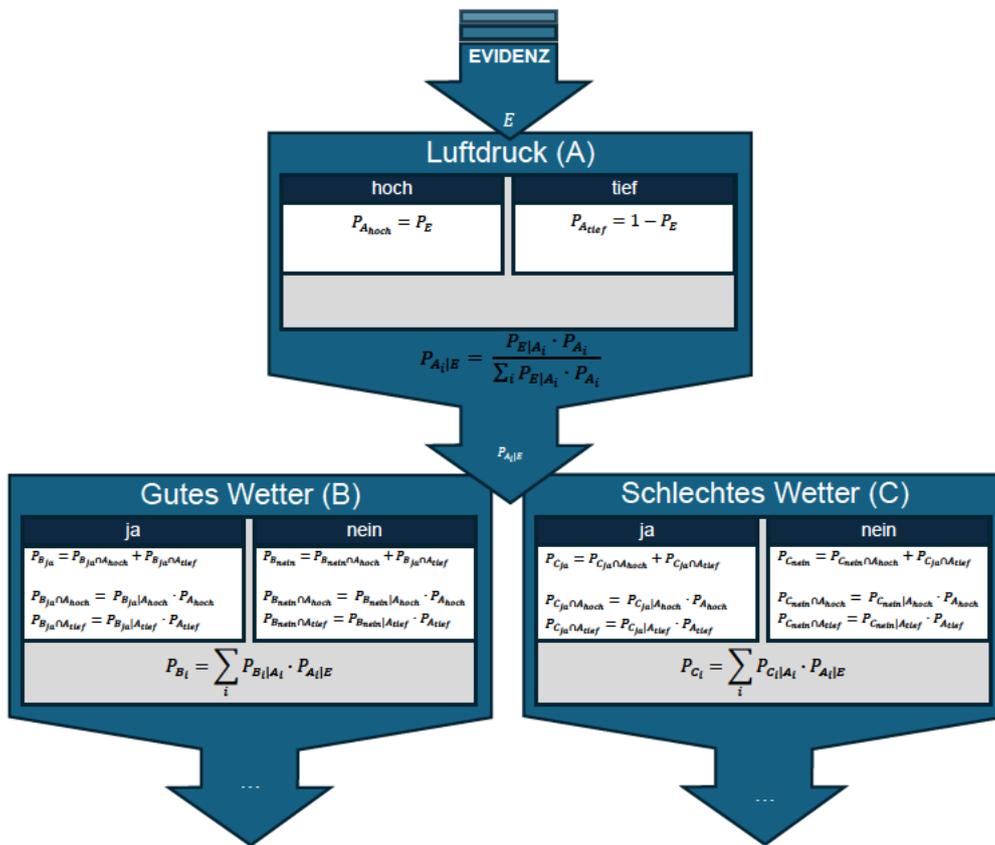
Die aktualisierte A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit von A wirkt weiter über P_B auf die A-Priori-Wahrscheinlichkeit von C ein. Der Blitz wird wiederum durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten der Ladungstrennung ($P_{B_{ja}}$ und $P_{B_{nein}}$) beeinflusst, wobei sich diese wieder mittels der angegebenen Formeln darstellen lassen. Da bereits im Vorfeld B durch A beeinflusst wurde, kann die Berechnung von P_C durch eine Verkettung der Summen abgebildet werden.

In dem Beispiel der seriellen Beziehung ist dargestellt, wie C über B von A beeinflusst wird. Hierbei sei noch erwähnt, dass, wenn C instanziiert, ist eine d-Verbindung vorliegt und Rückschluss über die Zustände von A über B erschlossen werden können. Auch gilt, dass wenn B instanziiert ist, eine d-Unverbundenheit zwischen A und C besteht. Somit ist der Beziehung zwischen diesen beiden Variablen unterbrochen, wodurch keine Rückschlüsse mehr von A auf C oder C auf A geschlossen werden können (Charniak 1991:54–55; Jensen 2001:6).

Divergent

Die divergente Beziehung wird anhand der möglichen Einflüsse des Luftdruckes, der durch die Gewichtskraft der Luft wirkt, auf das Wetter in einem Teilausschnittes eines BBNs veranschaulicht. Der Luftdruck wird durch die Eigenschaften der Luft beeinflusst. Ist die Luft trocken und kalt, sinkt diese in Richtung des Erdbodens, wodurch sich der Druck erhöht. Durch diese Eigenschaften ist die Entstehung von Wolken unwahrscheinlich, da nicht genügend Wassermoleküle und die entsprechende Temperatur vorhanden sind. Ist die Luft feucht und warm, so steigt diese aufwärts, wodurch sich der Druck verringert. Die Luft bewirkt, dass Wolken entstehen, da sich der warme und feuchte Wassergehalt in der Höhe abzukühlen beginnt. Bei einem hohen Luftdruck wird auch von Hochdruckgebieten gesprochen, die gutes Wetter mit sich bringen. Bei einem niedrigen Luftdruck wird von einem Tiefdruckgebiet gesprochen, das schlechtes Wetter, wie Regen oder Stürme mit sich bringen kann.

Für den Luftdruck (Variable A), der sich in die zwei Zustände Hoch und Tief aufteilt, ist eine spezifische Evidenz gegeben. Diese wird, wie in der seriellen Beziehung, in der weiteren Berechnung mittels des Satzes von Bayes berücksichtigt.



Die Wahrscheinlichkeit für das gute Wetter (Variable B) bzw. das schlechte Wetter (Variable C) wird durch die Kombination der Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Zustände berechnet. Dabei beeinflusst der Luftdruck bedingt das gute und das schlechte Wetter. Die beiden Variablen B und C sind dabei jedoch bedingt unabhängig voneinander. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit ist analog zu der Wahrscheinlichkeitsrechnung der Variable B in der seriellen Beziehung.

Prinzipiell ist es in der divergenten Konstellation möglich, zwischen den Kindervariablen B und C Rückschlüsse zu ziehen, solange A ohne Evidenz ist oder anders beschrieben eine d-Unverbundenheit zwischen den Kindervariablen vorliegt. Die Rückschlüsse über A werden beispielsweise über den Kinderknoten B abgeleitet, um entsprechend über Variable A den Zustand von C zu ermitteln. Entsprechend liegt eine d-Verbindung zwischen den Kindern vor, wenn A ohne Evidenz ist (Charniak 1991:54–55; Jensen 2001:7).

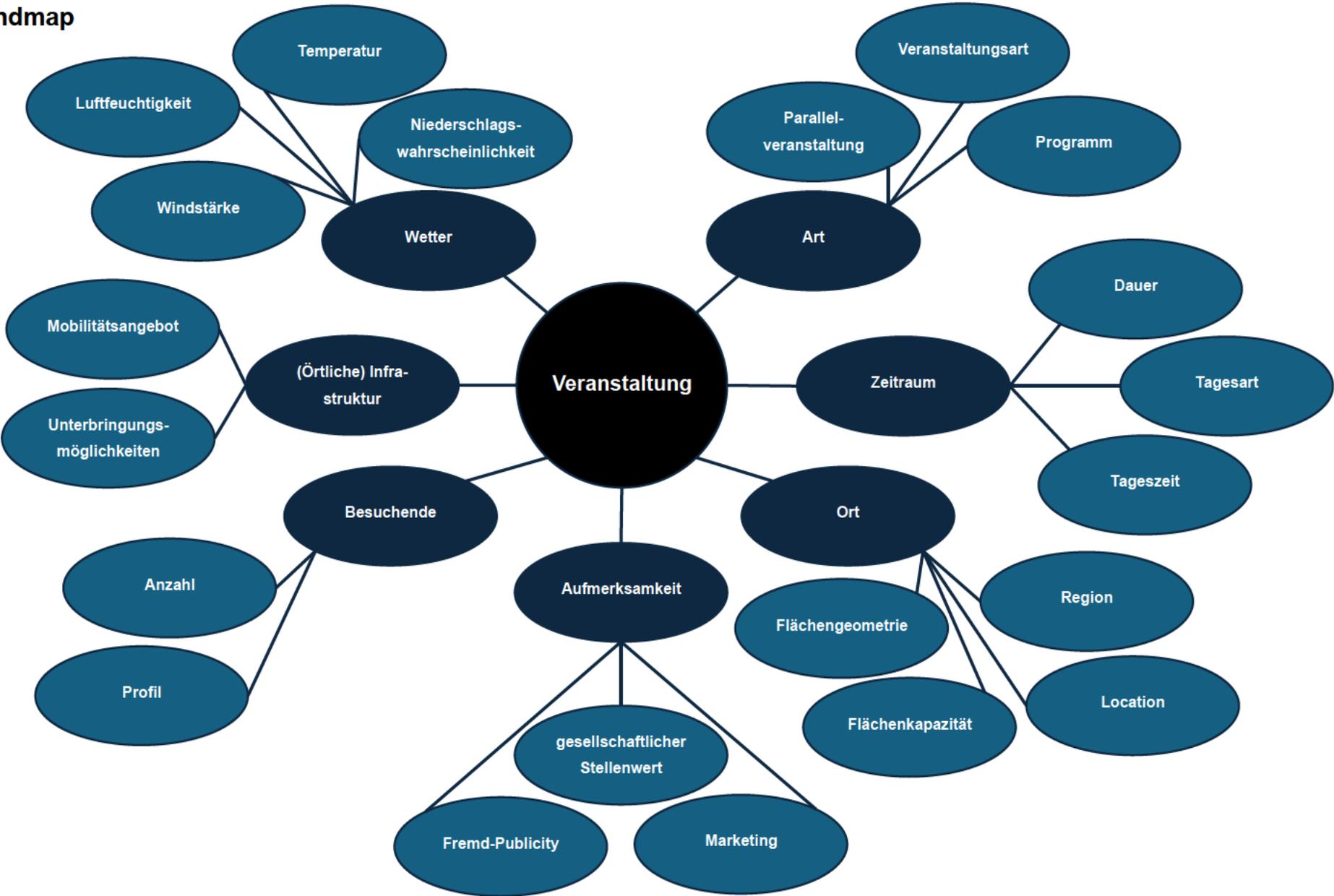
Anhang II: Eigenschaften einer Veranstaltung und ihrer Umgebung

Liste

Nr.	Kategorie	Nr.	Eigenschaft	Ausprägungen				
				Märkte:	Sport:	Konzerte/ Vorstellungen:	Feste:	sonstige:
1	Art	1.1	Veranstaltungsart	Wochen	Rad	Rock	Straßen	Messen
				Jahr	Lauf	Klassik	Stadt(teil)	Public Viewing
				Weihnacht	Motor	Opern	Volks	Ausstellungen
				Floh	Flug	Theater	Betriebs	Demonstration
				weitere				
1.2	Programm	Auftritte	Paraden	Lichtshows	Feuerwerk	weitere		
1.3	Parallelveranstaltung	Ja, mit ähnlichem Charakter		Ja, ohne ähnlichen Charakter		Nein		
2	Zeitraum	2.1	Dauer	mehrere Stunden	mehrere Tage	mehrere Wochen	mehrere Monate	
				≤ 24 h	≤ 7 d	≤ 4 w	> 1 m	
		2.2	Tagesart	Werktag		Wochenendtag	Ferien-/Feiertag	
		2.3	Tageszeit	vormittags		nachmittags	nachts/abends	
3	Ort	3.1	Region	rural			urban	
		3.2	Location	Bauliche Anlagen/Indoor		Freiflächen/Outdoor		Hybrid- Locationen
				Arena	Halle	Park	Felder	
				Garage	Bunker	Straßen	Plätze	
		weitere						
3.3	Flächenkapazität	0 bis +∞ m ²						
3.4	Flächengeometrie	Muster	Rechteck	Vieleck	Arena	Hantel		
		Schlange			Marktplatz			

Nr.	Kategorie	Nr.	Eigenschaft	Ausprägungen		
4	Aufmerksamkeit	4.1	gesellschaftlicher Stellenwert	hoch	mittel	gering
		4.2	Marketing	hoch	mittel	gering
		4.3	Fremd-Publicity	hoch	mittel	gering
5	Besuchende	5.1	Anzahl der Besuchenden	0 bis ∞ Besuchende		
		5.2	Profil der Besuchenden	Demografisch:		Sozialdemografisch:
				Alter		Bildung
				Geschlecht		Herkunft
		Interessen	Werte			
6	Wetter	6.1	Temperatur	$-\infty$ bis $+\infty$ °C		
		6.2	Luftfeuchtigkeit	0 bis 100 %		
		6.3	Windstärke	0 bis $+\infty$ m/s o. km/h o. kn		
		6.4	Niederschlags-wahrscheinlichkeit	0 bis 100 %		
7	Infrastruktur	7.1	Mobilitätsangebot	hoch	mittel	gering
		7.2	Unterbringungs-möglichkeit	hoch	mittel	gering

Mindmap

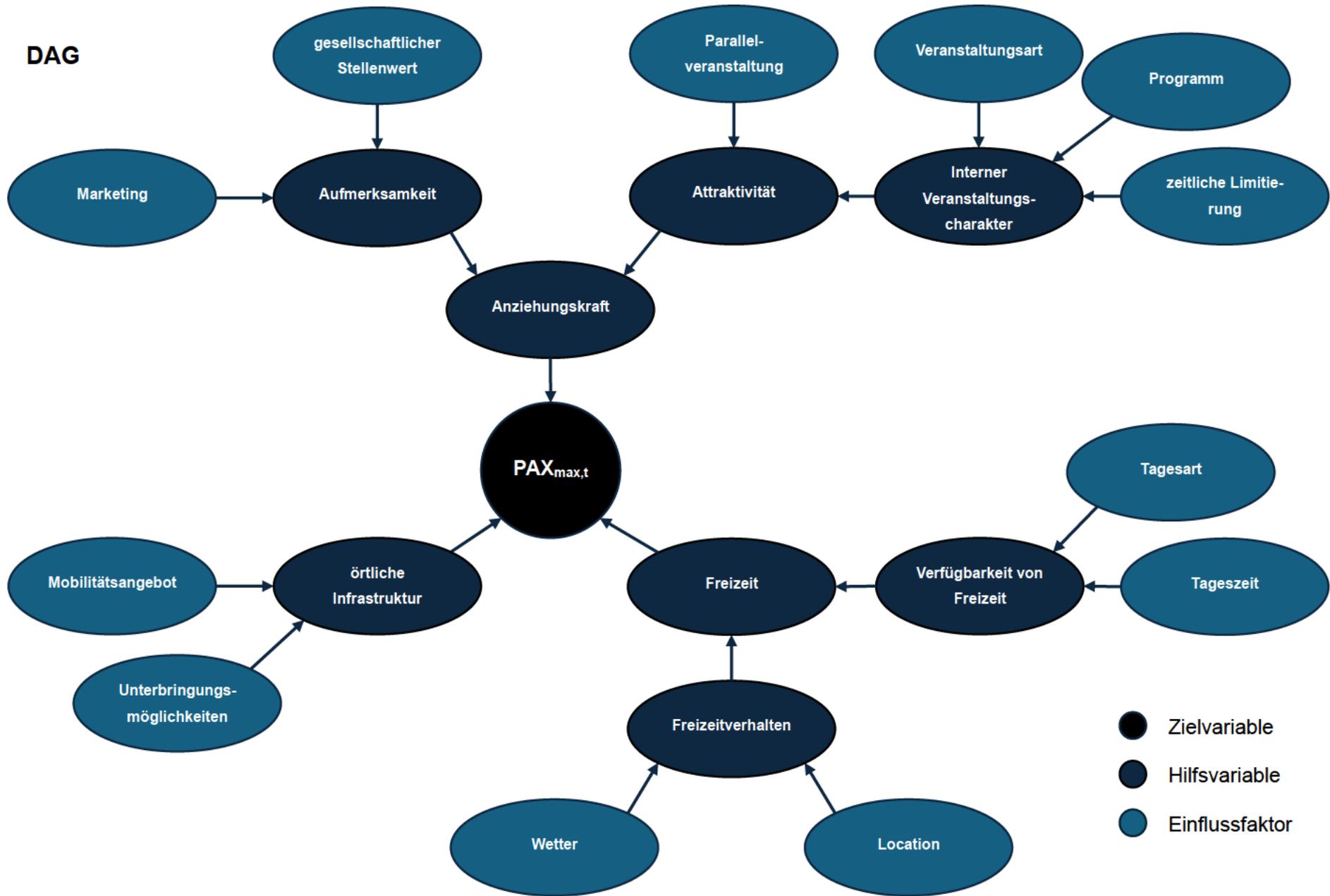


Anhang III: Bayesian Belief Network zur Ermittlung der Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden auf einer öffentlichen (Groß-)Veranstaltung

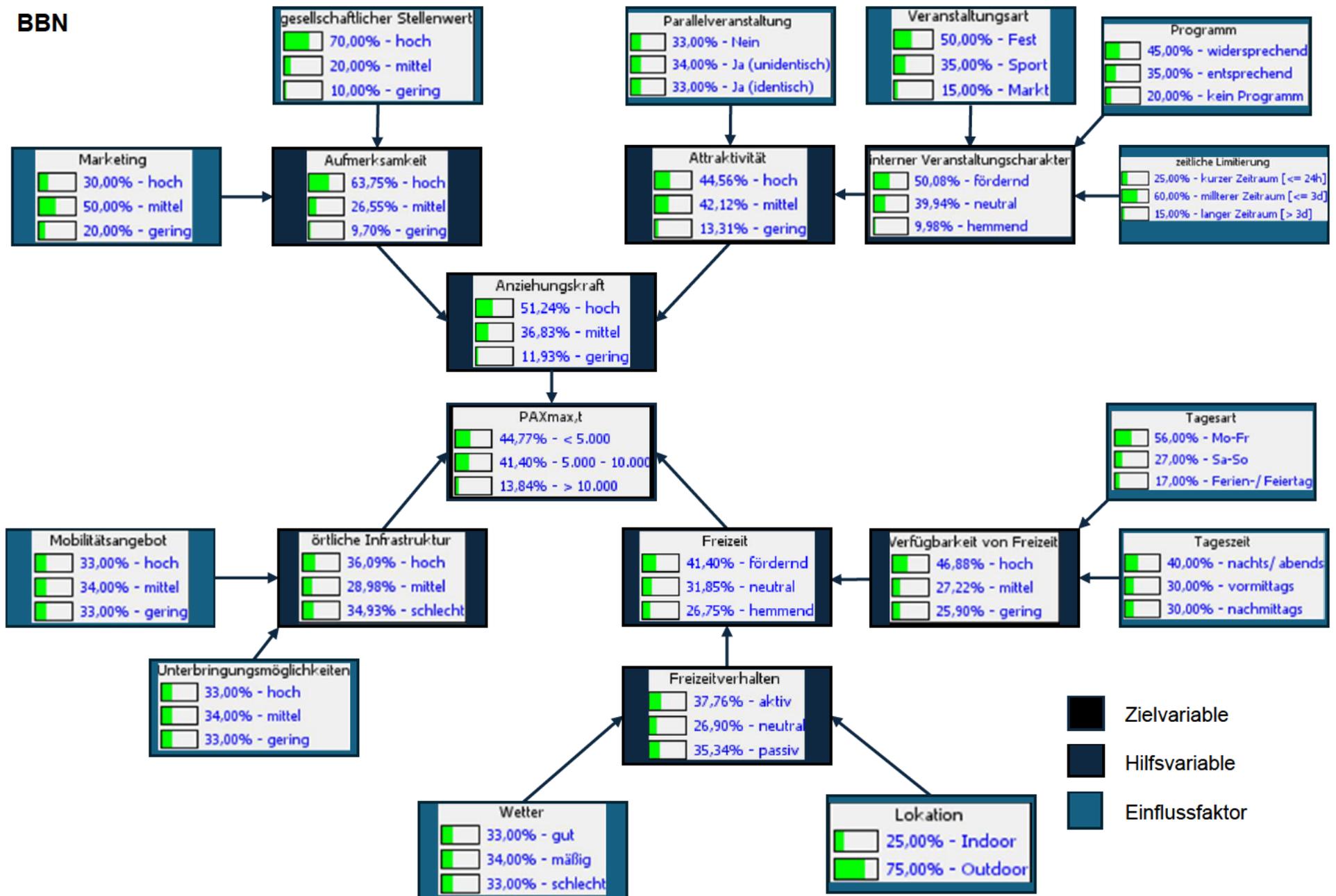
Variablen

	Variablenname	Zustände		
Zielvariable	Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden ($PAX_{max,t}$)	> 10 000	5 000-10 000	< 5 000
Hilfsvariablen	Anziehungskraft	hoch	mittel	gering
	Freizeit	fördernd	neutral	hemmend
	örtliche Infrastruktur	gut	mittel	schlecht
	Attraktivität	hoch	mittel	gering
	Aufmerksamkeit	hoch	mittel	gering
	interner Veranstaltungscharakter	fördernd	neutral	hemmend
	Freizeitverhalten	aktiv	neutral	passiv
	Verfügbarkeit von Freizeit	hoch	mittel	gering
Einflussfaktoren	gesellschaftlicher Stellenwert	hoch	mittel	gering
	Veranstaltungsart	Fest	Sport	Markt
	Wetter	gut	mäßig	schlecht
	Tagesart	Mo-Fr	Sa-So	Ferien-/Feiertag
	Tageszeit	abends/nachts (20 bis 6 Uhr)	vormittags (6 bis 13 Uhr)	nachmittags (13 bis 20 Uhr)
	zeitliche Limitierung	kurzer Zeitraum [≤ 24 h]	mittlerer Zeitraum [≤ 3 d]	langer Zeitraum [> 3 d]
	Marketing	hoch	mittel	gering
	Programm	widersprechend	entsprechend	kein Programm
	Parallelveranstaltung	nein	ja (unidentisch)	ja (identisch)
	Location	Indoor		Outdoor
	Mobilitätsangebot	hoch	mittel	gering
	Unterbringungsmöglichkeiten	hoch	mittel	gering

DAG



BBN



Eidesstattliche Erklärung

Titel der Bachelorarbeit:

Entwurf einer Prognosemethode zur Ermittlung der Anzahl der maximal zeitgleich anwesenden Besuchenden auf öffentlichen (Groß-)Veranstaltungen anhand eines Bayesian Belief Networks

Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit versichere ich, Johanna Suse Gardemann, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem oben angegebenen Thema ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum:


Johanna Suse Gardemann