Ist das Eckenverhältnis eine sinnlose Fußballstatistik?

Julian Müller

Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, Universität Konstanz
Seminar: Soccer Analytics
Betreuer: Sven Kosub

Zusammenfassung. In dieser Arbeit werden Ecken und Tore und ihr Zusammenhang während des Spielverlaufs analysiert. Es zeigt sich, dass Mannschaften, die den Ausgleich erzielen oder in Führung gehen, mit geringerer Wahrscheinlichkeit die nächste Ecke ausführen, und dass Mannschaften, die mehr Ecken zugesprochen bekommen, bei einem gegebenen Spielstand tendenziell mit größerer Wahrscheinlichkeit das nächste Tor erzielen.

1 Einführung

Eine der am häufigsten auftretenden Standardsituationen im Fußball ist der Eckball. Auch ist die Zahl der Eckbälle eine statistisch häufig erfasste Größe, da sie als Standardsituation einfach während eines Fußballspiels zu bestimmen ist. Aber kann man aus der Zahl der Ecken - oder der Eckendifferenz - Aussagen über das Spiel selbst und insbesondere das Spielergebnis gewinnen? Nur etwa 1-4% der Ecken führen direkt zu einem Tor.[1][2] Auch wurde festgestellt, dass durchschnittliche Anzahl der Ecken und durchschnittliche Anzahl der Tore eines Teams in den größeren Ligen korrelieren.[3] Ist das Wissen über Eckbälle also nutzlos?

In dieser Arbeit beschäftigen wir uns mit den Ecken und Toren während des Verlaufs eines Spiels. Mannschaften reagieren auf den aktuellen Spielstand mit Veränderungen ihres taktischen Verhaltens. Ändert sich dadurch etwas an der Effektivität von Ecken während des Spiels? Ändert sich das Verhältnis von Toren und Ecken? Welche Mannschaft erzielt die nächste Ecke, wenn ein Tor erzielt wird? Und wie ändert sich die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt, wenn sie mehr Ecken zugesprochen bekommt?

2 Modell des Spielverlaufs

Um Erwartungen an diese Änderungen zu formulieren, betrachten wir zunächst ein statisches Modell des Spielverlaufs. Beide Mannschaften versuchen, mehr Tore zu schießen als der Gegner und das Spiel zu gewinnen. Es ist daher von Interesse, ob es eine Beziehung zwischen Eckbällen und Toren einer Mannschaft gibt. Es gibt jedoch - abgesehen davon, dass ein kleiner Anteil der Eckbälle zu einem Tor führen - keinen direkten kausalen Zusammenhang zwischen Eckbällen und Toren. Allerdings sind Eckbälle und Tore Resultate von Angriffen einer Mannschaft, und über die Angriffe lässt sich ein Zusammenhang herstellen.

Zunächst beschreiben wir das Angriffsverhalten der Mannschaft X. Die Anzahl der Angriffe, die eine Mannschaft durchführt, hängt vom aktuellen Spielstand ab. Die erwartete Anzahl der Angriffe pro Minute der Mannschaft X sei daher eine Funktion $A_X(T)$, wobei T die aktuelle Tordifferenz bezeichnet. Tore und Eckbälle sind Resultate von Angriffen, wir modellieren daher die erwartete Anzahl der Ecken pro Minute als eine Funktion $C_X(A,T)$ und die erwartete Anzahl der Tore pro Minute als eine Funktion $G_X(A,T)$.

Axiome Ein verändertes Spielverhalten der Mannschaften während eines Fußballspiels verändert auch die erwartete Anzahl an Angriffen, Ecken und Toren pro Minute. Diese Veränderungen werden im Modell durch folgende Annahmen modelliert:

1. Eine Mannschaft, die in Rückstand gerät, führt mehr Angriffe durch, eine Mannschaft, die in Führung geht, führt weniger Angriffe durch: Eine Mannschaft, die in Rückstand gerät, investiert mehr in ihre Offensive, um den Ausgleich zu erzielen. Dadurch erzeugt sie mehr Angriffe. Auf der anderen Seite kann eine Mannschaft in Führung sich auf ihre Defensive konzentrieren und produziert daher weniger Angriffe.
2. Eine Mannschaft, die ceteris paribus mehr Angriffe ausführt, erhält mehr Eckbälle und erreicht mehr Tore: Jeder zusätzliche Angriff eröffnet eine neue Möglichkeit, ein Tor zu schießen oder eine Ecke zu erzielen.
3. Wenn eine Mannschaft mehr Angriffe durchführt, so ist die prozentuale Zunahme der Eckbälle mindestens so groß wie die prozentuale Zunahme der Tore: Es ist schwieriger, Tore zu erzielen wie Eckbälle zugesprochen zu bekommen.
4. Eine Mannschaft, die in Rückstand gerät, schießt weniger Tore pro Angriff: Die gegnerische Mannschaft wird mehr Aufwand in die Defensive investieren, was die Qualität der Chancen der Mannschaft in Rückstand reduziert. Umgekehrt schießt eine Mannschaft, die in Führung geht, mehr Tore pro Angriff: Die gegnerische Mannschaft muss offensiver spielen, um den Ausgleich zu erzielen, was die Qualität der Chancen verbessert.
5. Die Anzahl der Ecken pro Angriff ist unabhängig vom Spielstand.

Diese Annahmen lassen sich mathematisch als folgende Axiome formulieren:

1. $A_X(-1) > A_X(0) > A_X(1)$
2. $\dfrac{\partial C_X}{\partial A}, \dfrac{\partial G_X}{\partial A} > 0$ für $A \in \mathbb{R}_{>0}, T \in \mathbb{Z}$
3. $\dfrac{\partial C_X}{\partial A}(C_X(A,T))^{-1} \geq \dfrac{\partial G_X}{\partial A}(G_X(A,T))^{-1}$ für $A \in \mathbb{R}_{>0}, T \in \mathbb{Z}$
4. $G_X(A,-1) < G_X(A,0) < G_X(A,1)$ für $A \in \mathbb{R}_{>0}$
5. $C_X(A,T) = C_X(A,T')$ für $T, T' \in \mathbb{Z}$

3 Hypothesen

Wir sind hauptsächlich an drei Fragestellungen interessiert: Zunächst stellt sich die Frage, wie sich die Produktivität von Ecken je nach Spielstand ändert, d.h., wann werden mehr Tore pro Ecke geschossen und wann weniger. Dazu betrachten wir zunächst, wie sich das Verhältnis von Toren und Ecken im Modell ändert, wenn eine Mannschaft mehr Angriffe erzeugt. Für das Tore-Ecken-Verhältnis gilt dann:

$$\frac{\partial}{\partial A}\frac{G_X(A,T)}{C_X(A,T)} = (C_X(A,T))^{-2}\left(\frac{\partial G_X}{\partial A}C_X(A,T) - \frac{\partial C_X}{\partial A}G_X(A,T)\right) \leq 0$$

Dies folgt aus dem dritten Axiom des Modells. Damit ist das Tore-Ecken-Verhältnis in der Zahl der Angriffe monoton fallend.

Wir interessieren uns nun für den Fall, dass eine Mannschaft in Rückstand gerät. Im Modell ändert sich das Tore-Ecken-Verhältnis wie folgt:

$$\begin{aligned}\frac{G_X(A_X(-1),-1)}{C_X(A_X(-1),-1)} &< \frac{G_X(A_X(-1),0)}{C_X(A_X(-1),0)} && \text{(aus Axiomen 4 und 5)}\\ &\leq \frac{G_X(A_X(0),0)}{C_X(A_X(0),0)} && (\text{da } A_X(0) \leq A_X(-1))\end{aligned}$$

Das Modell sagt also voraus, dass das Tore-Ecken-Verhältnis sich verkleinert, wenn eine Mannschaft in Rückstand gerät. Neben dem Test dieser Aussage selbst stellt sich hierbei die Frage, ob dies auch für die Wahrscheinlichkeit gilt, dass Eckbälle unmittelbar zu Toren führen. Daraus ergeben sich die folgenden beiden Hypothesen:

H1 Gerät eine Mannschaft in Rückstand, so verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie aus einem Eckball unmittelbar ein Tor erzielt.

H2 Gerät eine Mannschaft in Rückstand, so verringert sich ihr Tore-Ecken-Verhältnis.

Wir sind außerdem daran interessiert, wie sich die Wahrscheinlichkeit ändert, welche von den beiden Mannschaften im Spiel die nächste Ecke oder das nächste Tor erzielt, nachdem eine Mannschaft in Führung gegangen ist. Nehmen wir also an, Mannschaft X geht in Führung und Mannschaft Y gerät in Rückstand. Dann gilt $C_X(A(1),1) \leq C_X(A_X(0),0)$ und $C_Y(A_Y(0),0) \leq C_Y(A_Y(-1),-1)$. Damit gilt für die Wahrscheinlichkeit, dass Mannschaft X die nächste Ecke erhält, wenn es eine Ecke gibt:

$$\begin{aligned}&P[\text{Mannschaft } X \text{ erhält Ecke}|\text{Es gibt einen Eckball}, T_X = 1]\\ &= \frac{C_X(A_X(1),1)}{C_X(A_X(1),1) + C_Y(A_Y(-1),-1)}\\ &< \frac{C_X(A_X(0),0)}{C_X(A_X(0),0) + C_Y(A_Y(0),0)}\\ &= P[\text{Mannschaft } X \text{ erhält Ecke}|\text{Es gibt einen Eckball}, T_X = 0]\end{aligned}$$

Aus dem Modell lässt sich daher die folgende Hypothese ableiten:

H3 Geht eine Mannschaft in Führung, so verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie den nächsten Eckball ausführen wird.

Zum Schluss betrachten wir, wie sich die Anzahl der Tore ändert, wenn eine Mannschaft ceteris paribus mehr Ecken erreicht. Hierzu ergibt sich zunächst aus Axiom 2, dass $C_X(A,T)$ streng monoton in der Zahl der Angriffe pro Minute A ist. Damit existiert die Umkehrfunktion $A_X(C,T) = C_X^{-1}(C,T)$ und sie ist streng monoton in der Zahl der Ecken pro Minute C. Da nach Axiom 2 die Zahl der Tore auch streng monoton in der Anzahl der Angriffe A ist, folgt, dass $G_X(A_X(C,T),T)$ streng monoton in der Anzahl der Ecken C ist. Nehmen wir nun an, Mannschaft X erspielte zunächst C_X Ecken und nun $C'_X > C_X$ Ecken. Auf der anderen Seite erspielte Mannschaft Y zunächst C_Y Ecken und nun $C'_Y < C_Y$ Ecken. Hieraus folgt $G_X(A_X(C_X,T),T) < G_X(A_X(C'_X,T),T)$ und $G_Y(A_Y(C_Y,T),T) > G_Y(A_X(C'_Y,T),T)$. Mit dem gleichen Ansatz wie bei Hypothese H3 lässt sich hieraus für die Wahrscheinlichkeit herleiten, wer das nächste Tor erzielt:

$$
\begin{aligned}
&P[\text{Mannschaft } X \text{ erzielt nächstes Tor}|\text{Ein Tor wurde erzielt}, T, C'_X, C'_Y] \\
&= \frac{G_X(A_X(C'_X,T),T)}{G_X(A_X(C'_X,T),T) + G_Y(A_X(C'_Y,T),T)} \\
&> \frac{G_X(A_X(C_X,T),T)}{G_X(A_X(C_X,T),T) + G_Y(A_Y(C_Y,T),T)} \\
&= P[\text{Mannschaft } X \text{ erzielt nächstes Tor}|\text{Ein Tor wurde erzielt}, T, C_X, C_Y]
\end{aligned}
$$

Daher ergibt sich aus dem Modell folgende Vermutung:

H4 Erreicht eine Mannschaft ceteris paribus mehr Ecken im Vergleich zum Gegner, so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie das nächste Tor erzielt.

4 Daten

Um diese Hypothesen zu testen, wurde ein Datensatz verwendet, er aus Liveticker-Meldungen von bwin gewonnen wurde. Aus den Liveticker-Meldungen wurden für die einzelnen Spiele die Ecken und Tore im Spiel inklusive der angegebenen Zeit, wann das Ereignis stattfand, extrahiert. Anschließend wurden Spiele mit Verlängerung und Spiele mit kürzeren Halbzeiten (2 Halbzeiten à 30 Minuten) entfernt, um eine größere Konsistenz zu erreichen. Tabelle 1 führt Kenndaten des Datensatzes auf. Abb. 1 verdeutlicht zudem Verteilungen von Toren, Ecken und Teams im Datensatz.

Sowohl die Kennzahlen als auch die Verteilungen verdeutlichen eine Reihe von Problemen: Zunächst nimmt die Inzidenz von Toren und Ecken mit der momentanen Eckendifferenz, insbesondere aber mit der Tordifferenz schnell ab.

Dies bedeutet, dass die Güte der Schätzungen von Größen mit dem Betrag der Tordifferenz und der Eckendifferenz schnell abnimmt. Zusätzlich stammen die Spiele aus sehr vielen verschiedenen Wettbewerben und Regionen. Daher gibt es eine große Varianz in der Qualität der verschiedenen Mannschaften. Für die meisten Mannschaften enthält der Datensatz außerdem nur sehr wenige Spiele. Daher ist es für die meisten Mannschaften nicht möglich, ihre Qualität aus mehreren Spielen heraus zu schätzen. Zum Schluss ergibt sich ein Problem aus der Erfassungsmethode: Die Zeitpunkte von Toren und Ecken im Liveticker geben nicht die Zeiten an, wann diese Ereignisse tatsächlich im Spiel aufgetreten sind, sondern sie geben an, wann sie im Liveticker eingetragen wurden. Dadurch kann es zu einer großen zeitlichen Diskrepanz zwischen dem Zeitpunkt, an dem das Ereignis tatsächlich im Spiel eingetreten ist, und dem Zeitpunkt, an dem es laut Liveticker stattgefunden hat, kommen.

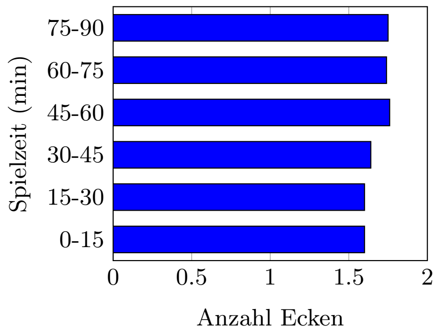
Tabelle 1: Kennzahlen des Datensatzes. Tordifferenz und Eckendifferenz sind Mittelwerte des Betrages am Spielende

Statistik	Spiele	Wettbewerbe	Regionen	Ecken	Ecken pro Spiel
Wert	4513	417	86	45607	10.11
Statistik	Tore	Tore pro Spiel	Teams	Spiele pro Team	Unentschieden
Wert	12642	2.80	3140	2.87	1162
Statistik	Siege	Spieldauer (min)	Tordiff.	Eckendiff.	
Wert	3397	95.10	1.39	3.50	

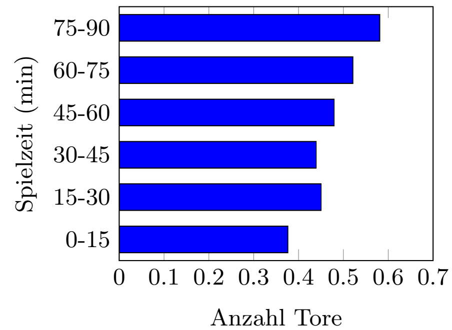
5 Markow-Kette

Um die Hypothesen H3 und H4 genauer zu untersuchen, wurde eine Markow-Kette aus dem Datensatz heraus konstruiert. Die Markow-Kette enthält Zustände, die die aktuelle Tordifferenz und Eckendifferenz während des Spiels anzeigen. Dies sind Zustände der Form (T, d), wobei T die aktuelle Tordifferenz und d die aktuelle Eckendifferenz bezeichnet. Ein solcher Zustand (T, d) ist in der Markow-Kette enthalten, wenn diese Eckendifferenz und Tordifferenz im Datensatz zumindest kurzzeitig während eines Spieles aufgetreten ist. Zusätzlich gibt es einen weiteren speziellen Zustand $\perp$, der das Spielende anzeigt; die Zuständsmenge Z ist also $\{\perp\} \subset Z \subset (\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}) \cup \{\perp\}$ und hat eine endliche Größe.

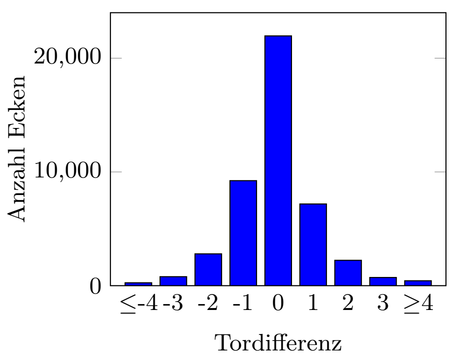
Im Gegensatz zu den anderen Zuständen wird der Spielendzustand $\perp$ nie verlassen. Für die anderen Zustände wurden die Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Zustand (T, d) zu einem anderen Zustand z, das heißt die Wahrscheinlichkeit $p_{(T,d),z}$, mithilfe von Häufigkeiten geschätzt: Sei $g_{T,d}$ die Anzahl der Tore und $c_{T,d}$ die Anzahl der Ecken im Datensatz, die bei einer momentanen Tordifferenz von i und einer momentanen Eckendifferenz j erzïelt wurden, sodass sich die Tordifferenz bzw. Eckendifferenz im Ergebnis erhöht. $g_{-T,-d}$ und



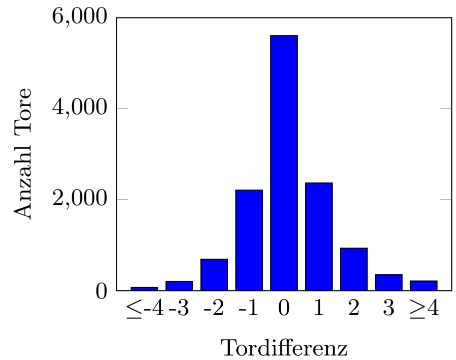
(a) Durchschnittliche Anzahl Ecken über Spielzeit; die Länge jeder Hälfte wurde auf 45 Minuten normalisiert



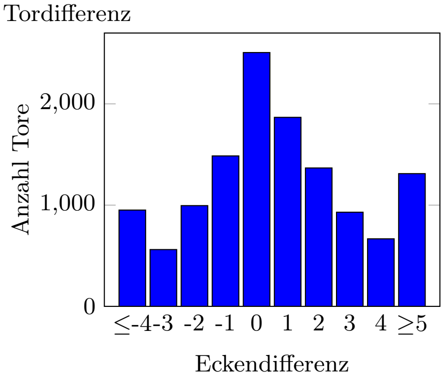
(b) Durchschnittliche Anzahl Tore über Spielzeit; die Länge jeder Hälfte wurde auf 45 Minuten normalisiert



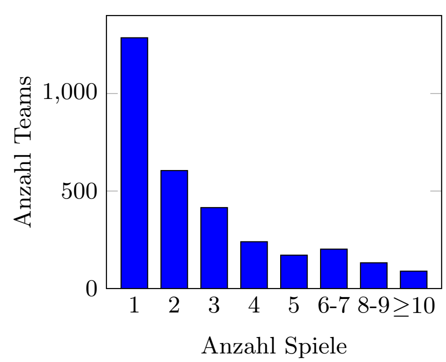
(c) Anzahl Ecken bezüglich aktueller Tordifferenz



(d) Anzahl Tore bezüglich aktueller Tordifferenz



(e) Anzahl Tore bezüglich aktueller Eckendifferenz



(f) Anzahl Teams mit k Spielen

Abb. 1: Verteilungen im Datensatz

$c_{-T,-d}$ geben daher die Anzahl der Tore und Ecken an, bei denen sich die Tordifferenz oder Eckendifferenz verringert. Zusätzlich bezeichne $e_{T,d}$ die Anzahl der Spiele, die mit T Toren Differenz und d Ecken Differenz geendet haben. Dann erhält der Datensatz insgesamt $k_{T,d} = g_{T,d} + g_{-T,-d} + c_{T,d} + c_{-T,-d} + e_{T,d}$ für die gegebene Tor- und Eckendifferenz. Aus diesen Größen lassen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten für den Zustand (T, d) schätzen:

$$p_{(T,d),z} := \begin{cases} \frac{g_{T,d}}{k_{T,d}} & z = (T+1, d) \\ \frac{c_{T,d}}{k_{T,d}} & z = (T, d+1) \\ \frac{g_{-T,-d}}{k_{T,d}} & z = (T-1, d) \\ \frac{c_{-T,-d}}{k_{T,d}} & z = (T, d-1) \\ \frac{e_{T,d}}{k_{T,d}} & z = \perp \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Aus der Definition der Markow-Kette ergibt sich insbesondere, dass nicht zwischen Heim- und Auswärtsmannschaften unterschieden wird. Stattdessen erfüllt die Markow-Kette die Symmetrieeigenschaft, dass $p_{(T,d),(T',d')} = p_{(-T,-d),(-T',-d')}$.

Diese Markow-Kette ermöglicht es, Spielverläufe zu simulieren und aus dem Modell heraus eine Wahrscheinlichkeit für diese Spielverläufe abzuleiten, selbst wenn ein Beispiel für einen solchen Spielverlauf nicht in den Daten enthalten ist. Das Modell hat aber eine Reihe von Limitierungen: Qualitätsunterschiede zwischen Mannschaften werden nicht beachtet. Auch ergibt sich aus der Markow-Eigenschaft, dass der bisherige Spielverlauf keinen Einfluss darauf hat, welche Ereignisse als nächstes mit welcher Wahrscheinlichkeit eintreten werden. In Fußballspielen ist dies häufig nicht der Fall: Die taktische Ausrichtung und die moralische Einstellung der Mannschaften werden durch den Spielverlauf beeinflusst und beeinflussen umgekehrt den zukünftigen Spielverlauf. Dies ist besonders offensichtlich bei Wechseln: Je nach Spielergebnis werden Spieler ausgewechselt, um die taktische Ausrichtung zu ändern. Es ist aber im späteren Verlauf nicht mehr möglich, diesen Wechsel rückgängig zu machen. Zuletzt wird die vergangene Zeit während des Spiels nicht explizit modelliert. Als Ersatz ist ein Zustand enthalten, der das Spielende anzeigt. Dadurch kann es aber bei der Simulation eines kompletten Spielverlaufs passieren, dass ein Spiel effektiv vorzeitig beendet wird oder deutlich länger als die reguläre Spielzeit verläuft. Allerdings nimmt die Wahrscheinlichkeit für sehr lange Spielverläufe exponentiell ab. Dies verhindert, dass ein simuliertes Spiel tatsächlich sehr lange dauern wird.

6 Analyse

6.1 Torerfolg unmittelbar nach Eckball

Zunächst testen wir Hypothese H1, dass eine Mannschaft mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit zu einem Torerfolg unmittelbar nach einem Eckball kommt, wenn sie in Rückstand gerät. Dazu betrachten wir den unmittelbaren Torerfolg aus einem Eckball heraus als ein Bernoulli-Experiment: Mit Wahrscheinlichkeit p tritt ein Torerfolg aus dem Eckball heraus ein, mit Wahrscheinlichkeit $1-p$ tritt er nicht ein. Unser Interesse liegt darin, ob sich die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges anhand des aktuellen Spielstandes ändert. Um dies zu untersuchen, werden die Ecken zunächst nach der aktuellen Tordifferenz zum Zeitpunkt der Ausführung des Eckballes partitioniert. Anschließend wird für jede Ecke bestimmt, ob aus ihr anhand der oben angegeben Definition ein Tor gefallen ist. Wir erhalten daraus die Anzahl aller Ecken bei einer gegebenen Tordifferenz T, c_T, und die Anzahl aller erfolgreichen Ecken, b_T. Der erwartungstreue Schätzer für die Wahrscheinlichkeit p_T, dass ein Eckball bei einer gegeben momentanen Tordifferenz T zu einem Torerfolg führt, ergibt sich dann als

$$\hat{p}_T = \frac{b_T}{c_T} \ .$$

Es stellt sich zunächst das Problem, dass der Datensatz keine Information darüber enthält, ob ein Tor aus einem Eckball heraus gefallen ist oder einen anderen Ursprung hat. Der Datensatz enthält aber Zeitangaben, wann Tore und Eckbälle im Liveticker eingetragen wurden. Aus diesen Zeitangaben lässt sich indirekt eine Definition herleiten, wann man ein Tor als unmittelbar aus einem Eckball heraus gefallen ansieht:

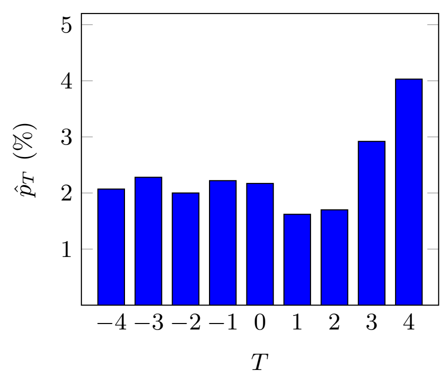
- Das Tor einer Mannschaft muss innerhalb einer Zeit t nach der Eckballentscheidung für diese Mannschaft erfolgen.
- Es darf kein anderes Ereignis zwischen Tor und Eckball eintreten: Weder darf ein weiteres Tor fallen, noch auf einen weiteren Eckball entschieden werden oder der Spielabschnitt beendet werden.

Bei der Wahl der maximalen Zeitspanne t muss darauf geachtet werden, dass diese weder zu groß noch zu klein ist: Ist sie zu klein, so werden viele Torerfolge aus Eckbällen heraus nicht erfasst, weil der Eckball noch nicht ausgeführt wurde. Ist die Zeitspanne zu groß, so werden auch Tore aus nachfolgenden Spielaktionen als Torerfolge aus der Ecke heraus erfasst.

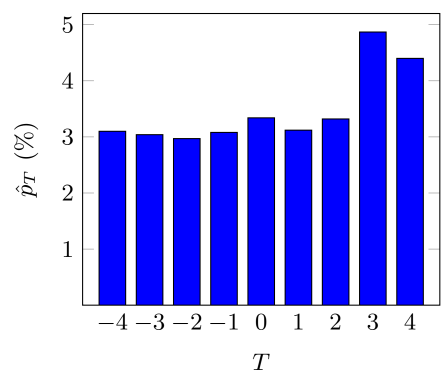
Tabelle 2: Anzahl der Ecken im Datensatz und Wahrscheinlichkeit des Torerfolgs für gegebene Tordifferenzen

Tordifferenz T	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Anzahl Ecken c_T	44	193	790	2798	9232	21960	7183	2230	719	273	106
Torerfolg $\hat{p}_T$ für $t = 30\,\mathrm{s}$ [%]	2.27	2.07	2.28	2.00	2.22	2.17	1.62	1.70	2.92	4.03	2.83
Torerfolg $\hat{p}_T$ für $t = 45\,\mathrm{s}$ [%]	2.27	3.11	3.04	2.97	3.08	3.38	3.19	3.32	4.87	4.40	5.66
Torerfolg $\hat{p}_T$ für $t = 60\,\mathrm{s}$ [%]	4.55	3.67	3.67	3.43	3.61	3.88	3.63	4.08	5.98	5.86	6.60

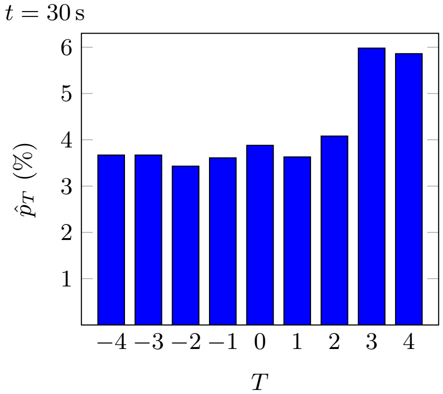
Resultate Tabelle 2 führt sowohl die Anzahl der Ecken für gegebene Tordifferenzen als auch die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges aus einem Eckball heraus auf. Abb. 2 veranschaulicht die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges aus einer Ecke heraus. Aus der Analyse lässt sich ableiten, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Torerfolg unmittelbar aus einer Ecke heraus annähernd auf konstantem Niveau bis zu einer Tordifferenz von maximal 2 bleibt, sie erreicht aber für eine Tordifferenz von 3 oder größer ein höheres Niveau. Es stellt sich hier die Frage, ob dieses unterschiedliche Niveau durch Zufall erklärt werden kann oder ob die Schätzungen der Torerfolgswahrscheinlichkeiten signifikant voneinander abweichen. Dazu muss untersucht werden, ob die Nullhypothese $p_T = p_{T'}$ bei Alternativhypothese $p_T \neq p_{T'}$ für verschiedene Differenzen T, T' verworfen werden kann. Aus dem zweiseitigen Welsh-Test ergibt sich, dass für $t = 30\,\mathrm{s}$ das 95%-Signifikanzniveau ausschließlich bei $T = 4$ und $T' = 1$ erreicht wird und für $t = 45\,\mathrm{s}$ bei $T = 3$ und $T' \in \{-1, -2\}$. Für $t = 60\,\mathrm{s}$ wird das Signifikanzniveau für $T = 3$ und $T' \in [-3, 1]$ erreicht.



(a) Torerfolgswahrscheinlichkeit für $t = 30\,\mathrm{s}$



(b) Torerfolgswahrscheinlichkeit für $t = 45\,\mathrm{s}$



(c) Torerfolgswahrscheinlichkeit für $t = 60\,\mathrm{s}$

Abb. 2: Wahrscheinlichkeit eines Torerfolgs aus einem Eckball heraus in Abhängigkeit von der Tordifferenz

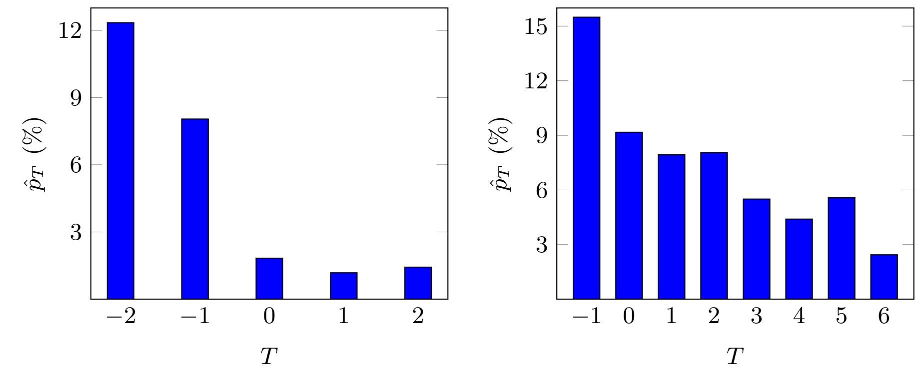
Diskussion Aus der Analyse zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit eines Torerfolges unmittelbar aus einem Eckball sich nicht ändert, wenn eine Mannschaft in Führung geht. Allerdings zeigt diese Analyse, dass ab einer Tordifferenz von 3 die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tor unmittelbar aus einem Eckball für die führende Mannschaft fällt, ein deutlich höheres Niveau erreicht, und dieses spätestens ab $t = 60\,\mathrm{s}$ signifikant abweicht. Allerdings erklärt diese Untersuchung nicht, wie dieser Effekt entsteht. Folgende Ursachen sind möglich:

1. Ab einer Tordifferenz von 3 ändert sich das Verhalten der Mannschaften während des Spiels, sodass die führende Mannschaft eher aus einer ihrer Ecken unmittelbar ein Tor erzielt. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel, dass die zurückliegende Mannschaft häufig ab 3 Toren Rückstand einbricht.
2. Mannschaften, die mit 3 oder mehr Toren führen, haben ein höheres Spielniveau als ihr Gegner und sind daher in der Lage, mehr Tore aus Ecken zu erzielen.
3. Die Wahrscheinlichkeit, dass aus einer Ecke unmittelbar ein Tor erzielt wird, bleibt gleich. Der Unterschied entsteht dadurch, dass eine Mannschaft, die so hoch führt, aus einem direkt auf eine Ecke folgenden Angriff eher ein Tor erzielt.

Um die erste Ursache von der zweiten unterscheiden zu können, benötigt man ein Qualitätsmaß für die Mannschaften. Aus dem gegebenen Datensatz heraus gibt es zwei Ansätze, ein solches Qualitätsmaß herzuleiten. Die erste Möglichkeit ist, das Spielresultat, das heißt die Tordifferenz bei Spielende, heranzuziehen. Allerdings ist das Spielresultat nicht unabhängig von der Wahrscheinlichkeit eine Torerfolges nach einer Ecke, wie Abb. 3 zeigt. Es lässt sich beobachten, dass die Torerfolgswahrscheinlichkeit umso großer wird, umso mehr Tore geschossen werden müssen, um das Spielresultat zu erreichen. Auf der anderen Wahrscheinlichkeit wird die gemessene Torerfolgswahrscheinlichkeit besonders klein, wenn sie bedeutet, dass die Tordifferenz für einen Moment während des Spiels größer ist als am Ende des Spiels. Beide Effekte lassen sich dadurch erklären, dass Tore seltene Ereignisse und ein Spiel eine endliche Länge hat: Durch die endliche Länge ist die Anzahl aller Spielaktionen einer Mannschaft, darunter auch Ecken, während eines Spiels beschränkt. Die Tore fallen aber aus Spielaktionen einer Mannschaft heraus. Wenn eine Mannschaft also viele Tore schießen muss, um das Spielresultat zu erreichen, so muss ein höherer Anteil aller Aktionen während des Spiels zu einem Tor führen. Auf der anderen Seite ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass die Tordifferenz für eine Mannschaft kurzzeitig im Spiel größer ist als am Spielende, da dies bedeutet, dass auch die gegnerische Mannschaft so viele Tore noch schießen muss. Tore sind im Fußball aber selten.

Eine weitere Möglichkeit ist, aus anderen Spielen einer Mannschaft einen Score für die Qualität der Mannschaft oder ein Ranking der Mannschaften zu bestimmen. Wie aber schon in Abschnitt 4 beschrieben, ist dies aus den Daten für die meisten Teams nicht möglich, da sie an zu wenigen Spielen teilnehmen.

Eine letzte Möglichkeit ist es, ein Qualitätsrmaß aus einer externen Quelle zu beziehen. Da die Mannschaften aus dem Datensatz aus sehr vielen unterschiedlichen Ligen und Ländern stammen, wäre es aber notwendig, Ligatabellen



(a) Torerfolgswahrscheinlichkeit für $t = 45\,\mathrm{s}$ bei Spielen, die unentschieden ausgehen

(b) Torerfolgswahrscheinlichkeit für $t = 45\,\mathrm{s}$ bei Spielen, bei denen die Mannschaft mit 3 oder mehr Toren Vorsprung gewinnt

Abb. 3: Wahrscheinlichkeit eines Torerfolgs aus einem Eckball heraus in Abhängigkeit von der momentanen Tordifferenz, wenn das Spiel mit einem bestimmten Endstand geendet hat

oder andere Rankings zusammenzuführen, die untereinander nur begrenzt vergleichbar sind. Wettquoten vor Spielbeginn auf den Sieger sind eine Alternative, allerdings enthält der ursprüngliche Datensatz, aus dem die Daten über Ecken und Tore gewonnen wurden, bei vielen Spielen nur Wettquoten gegen Ende des Spiels, wenn überhaupt welche enthalten sind.

Es gibt Hinweise darauf, dass die dritte Ursache zumindest zum Teil für den Niveauunterschied verantwortlich ist: Für Tordifferenz $T \geq 3$ nimmt die Torerfolgswahrscheinlichkeit mit der Vergrößerung der maximalen Zeitspanne t stärker zu als für $T < 2$. Auch bei $T = 2$ zeigt sich zwischen $t = 45\,\mathrm{s}$ und $t = 60\,\mathrm{s}$ ein größerer Anstieg der Torerfolgswahrscheinlichkeit als Tordifferenzen $T < 2$. Diese Unterschiede deuten darauf hin, dass der höhere Anstieg teilweise auf den Ecken nachfolgenden Angriffssituationen beruht. Leider lässt sich auch dies nicht aus dem Datensatz heraus überprüfen, da dieser keine Informationen darüber enthält, wie die Tore entstanden sind.

Es ist zu vermuten, dass der Anstieg nicht auf einem veränderten Verhalten der Mannschaften beruht, da es fragwürdig erscheint, dass eine solche Veränderung eintritt, wenn eine Mannschaft mit einem 3. Tor in Führung geht.

6.2 Verhältnis von Toren und Ecken

In diesem Abschnitt betrachten wir die Hypothese, dass das Tore-Ecken-Verhältnis für eine Mannschaft abnimmt, wenn die andere Mannschaft in Führung geht. Wir untersuchen dazu, ob sich dieses Verhältnis je nach momentanem Spielstand ändert. Dazu wird zu jeder Ecke und jedem Tor im Datensatz der aktuelle

Spielstand bestimmt. Danach wird die Anzahl der Ecken und Tore mit der gleichen Tordifferenz T bestimmt und zuletzt ins Verhältnis gesetzt.

Resultate Tabelle 3 enthält die Anzahl der Ecken (c_T) und Tore (g_T) zu einem gegebenen momentanen Spielstand sowie das daraus abgeleitete Tore-Ecken-Verhältnis. Abb. 4 veranschaulicht das Tore-Ecken-Verhältnis als Diagramm. Aus dem Diagramm heraus ist zu erkennen, dass die Hypothese sich nicht bestätigt: Das Tore-Ecken-Verhältnis für eine Mannschaft wird nicht bzw. kaum kleiner, wenn die eigene Mannschaft in Rückstand gerät. In den Daten findet sich sogar eine Tendenz, dass dieses Verhältnis eher größer wird, je weiter die Mannschaft zurückliegt.

Im Gegensatz dazu kann man aber eine eindeutige Tendenz beobachten, dass das Tore-Ecken-Verhältnis sich vergrößert, wenn die eigene Mannschaft in Führung geht. Dieser Anstieg scheint ab einer Führung von 3 Toren sein höchstes Niveau erreicht zu haben. Aus den Daten heraus lässt sich dieser Anstieg auf zwei Effekte zurückführen: Wie in Tabelle 3 zu sehen ist, schießen Mannschaften, die mit der Tordifferenz T Führung sind, mehr Tore in der gleichen Zeit wie Mannschaften, die mit der Tordifferenz $-T$ in Rückstand liegen.[1] Gleichzeitig produzieren aber auch Mannschaften, die um eine relativ kleine Tordifferenz T in Führung liegen, tendenziell weniger Ecken als Mannschaften, die um die kleine Tordifferenz $-T$ zurückliegen.

Tabelle 3: Anzahl der Ecken, Tore und das Tore-Ecken-Verhältnis in Abhängigkeit von der momentanen Tordifferenz

Tordifferenz T	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Anzahl Ecken c_T	44	193	790	2798	9232	21960	7183	2230	719	273	106
Anzahl Tore g_T	13	54	202	689	2209	5606	2367	933	353	137	49
Tore-Ecken-Verhältnis $\frac{g_T}{c_T}$ [%]	29.6	28.0	25.6	24.6	23.9	25.5	33.0	41.8	49.1	50.2	45.2

Diskussion Es zeigt sich, dass das Tore-Ecken-Verhältnis zunimmt, wenn die Mannschaft in Führung geht, und dieser Anstieg setzt sich bis zu einer Tordifferenz von etwa 3 Toren fort. Für diese Zunahme gibt es zwei mögliche Ursachen:

1. Wenn Mannschaften in Führung gehen, so ändern sie und die gegnerische Mannschaft ihr Verhalten. So könnte auf der einen Seite die Mannschaft, die in Führung ist, weniger Angriffe insgesamt durchführen, was zu einer geringeren Zahl an Ecken führt. Auf der anderen Seite könnte sich die Qualität der verbleibenden Angriffe verbessern, da das Team mehr Zeit in den einzelnen

[1] Die Zeit, die Mannschaften in Spielen im Datensatz mit der Tordifferenz T insgesamt in Führung liegen, ist gleich der Zeit, die Mannschaften mit der Tordifferenz $-T$ zurückliegen.

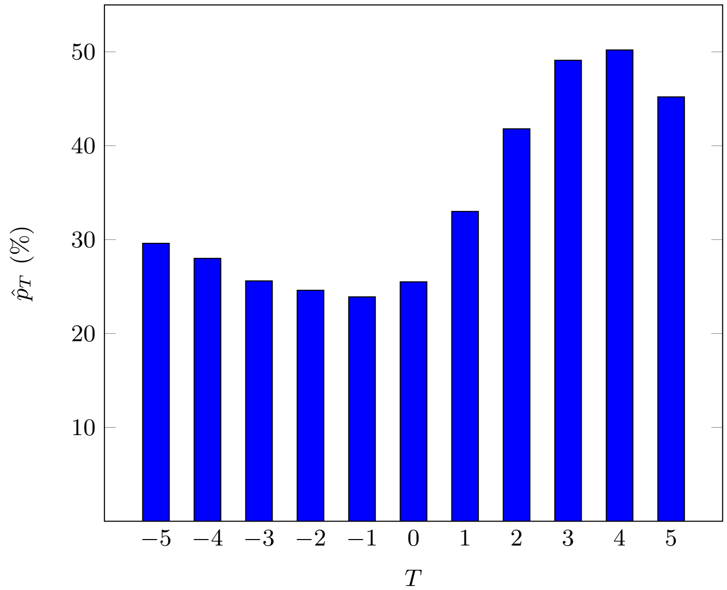


Abb. 4: Das Tore-Ecken-Verhältnis in Abhängigkeit von der momentanen Tordifferenz

Angriff investiert oder die gegnerische Mannschaft ihre Defensive schwächen muss, um ihre Offensive zu stärken.

2. Mannschaften, die in Führung gehen, haben tendenziell eine höhere Qualität und wandeln daher tendenziell eher eine Aktion in ein Tor um.

Wie schon in Abschnitt 6.1, in dem die Wahrscheinlichkeit eines unmittelbaren Torerfolgs aus einer Ecke heraus betrachtet wurde, stellt sich auch hier das Problem, dass ein Maß für die Qualität der Mannschaften oder zumindest für den Qualitätsunterschied zweier Mannschaften vonnöten ist, um den Einfluss dieser beiden möglichen Ursachen einschätzen zu können. Leider lassen sich die Probleme, die schon in Abschnitt 6.1 besprochen wurden, auch auf dieses Problem hier übertragen. Es lässt sich daher aus diesem Datensatz kein brauchbares Qualitätsmaß für die Mannschaften bestimmen. Es bleibt daher eine offene Frage, wie groß der Anteil der beiden genannten Ursachen tatsächlich am Anstieg des Tore-Ecken-Verhältnis ist.

6.3 Produktion von Ecken anhand der Tordifferenz

In diesem Abschnitt wenden wir uns der Frage zu, ob der aktuelle Spielstand einen Einfluss darauf hat, wer die nächste Ecke erreichen wird. In Abschnitt 3 wurde die Hypothese H3 hergeleitet, dass eine Mannschaft mit geringerer Wahrscheinlichkeit den nächsten Eckball erzielt, wenn sie in Führung geht. Um diese These zu untersuchen, nutzen wir die zuvor beschrieben Markow-Kette: Wir simulieren die Markow-Kette beginnend von jedem geschätzten Zustand (T, d) aus. Sei A die Mannschaft, aus deren Sicht wir das Spiel betrachten, d.h., die Tordifferenz für die Mannschaft A beträgt T und die Eckendifferenz d. Sei B die andere Mannschaft. Wir schätzen durch die Simulation für jede Mannschaft X die Wahrscheinlichkeit $p_X := P[\text{Team X erhält nächsten Eckball}]$. Dies bedeutet, dass die Simulation eines Spielverlaufs abgebrochen werden kann, sobald ein Eckball auftritt. $p_A + p_B$ ist hier typischerweise kleiner als 1, da auch kein Eckball während des Spiels mehr auftreten muss. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Mannschaft A dann den nächsten Eckball ausführen wird, beträgt

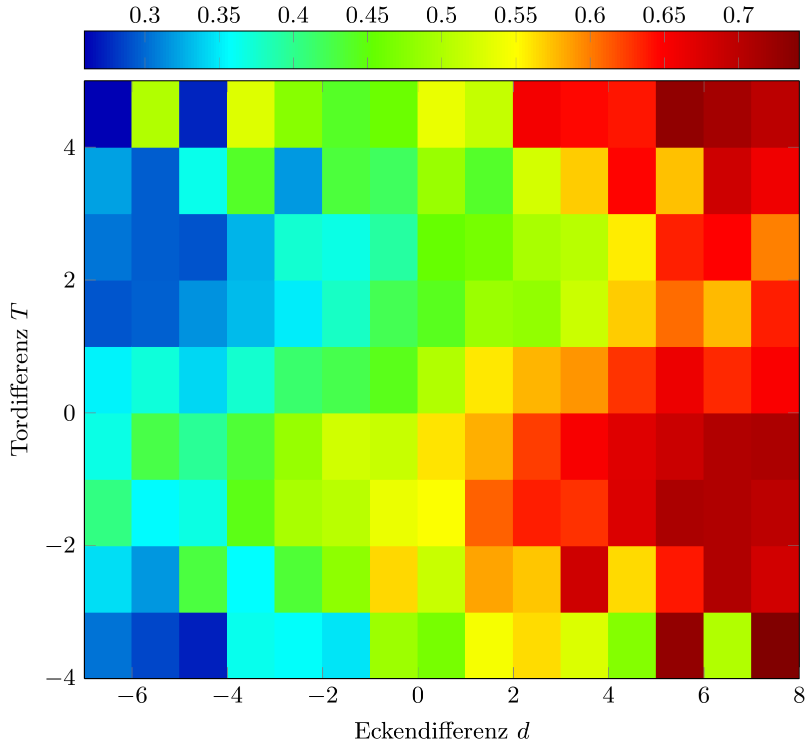
$$q_{T,d} := P[\text{Team A erhält nächsten Eckball}|\text{Es gibt einen Eckball}] = \frac{p_A}{p_A + p_B} \ .$$

Um die Hypothese zu testen, wird betrachtet, wie sich $q_{T,d}$ ändert, wenn die Eckendifferenz d fixiert und die Tordifferenz T variiert wird.

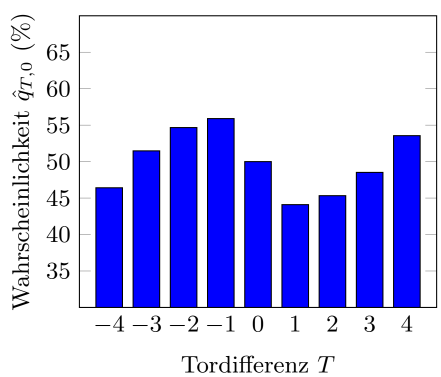
Um die Ergebnisse aus der Simulation der Markow-Kette zu überprüfen, wurde zusätzlich noch die Wahrscheinlichkeit aus den Daten heraus direkt geschätzt: Dazu wurde die Anzahl der Ecken $c_{T,d}$ im Datensatz mit der Tordifferenz T und der Eckendifferenz d gezählt. Da die Anzahl der Ecken $c_{T,d}$ häufig aber gering ist, sodass eine gute Schätzung der Wahrscheinlichkeit eines Eckballs einer Mannschaft nicht möglich wäre, wurden die Ecken in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Eckendifferenz zusammengefasst, d.h., es wurde die Anzahl $C_{T,x}$ der Ecken im Datensatz mit Tordifferenz T und einer Eckendifferenz c mit $\text{sgn}(c) = x$ bestimmt. Die Wahrscheinlichkeit, dass der nächste Eckball vom Team mit Tordifferenz T und Vorzeichen der Eckendifferenz x ausgeführt wird, kann in diesem Ansatz dann mit $\frac{C_{T,x}}{C_{T,x}+C_{-T,-x}}$ geschätzt werden.

Resultate Abb. 5 führt die Ergebnisse der Simulation der Markow-Kette auf. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass in der Simulation die Wahrscheinlichkeit abnimmt, dass ein Team die nächste Ecke zugesprochen bekommt, wenn die Mannschaft den Ausgleich erzielt oder sie in Führung geht. Dies ist konsistent mit den Schätzungen der Wahrscheinlichkeiten aus den Häufigkeiten der Ecken, wie sie in Abb. 6 dargestellt werden.

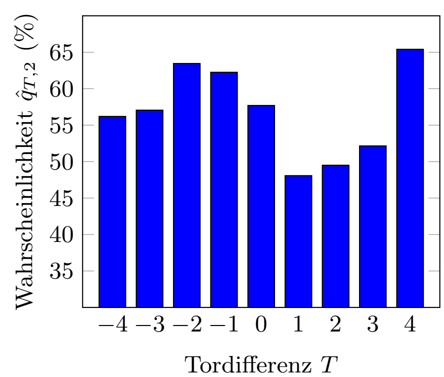
Diskussion Sowohl die Ergebnisse der Simulation als auch die Schätzungen über die Häufigkeiten sind konsistent mit Hypothese H3, dass eine Mannschaft mit höherer Wahrscheinlichkeit den nächsten Eckball erhält, wenn sie in Rückstand gerät. Dieser Effekt beruht vermutlich auf einem veränderten Verhalten der Mannschaften bei diesem Spielstand: Mannschaften, die in Rückstand geraten, müssen mehr in ihre Offensive investieren, während Mannschaften, die in Führung gehen, sich mehr auf die Defensive konzentrieren. Dadurch verändert sich das Verhältnis der Angriffe zwischen den beiden Mannschaften und damit indirekt auch die Wahrscheinlichkeit, wer die nächste Ecke erzielt. Wie auch schon in der Diskussion der Ergebnisse für die Hypothesen H1 und H2 zuvor wäre es im Prinzip denkbar, dass diese Beobachtung aus dem Qualitätsunterschied der Mannschaften beruht. Wenn man allerdings die Tordifferenz als Qualitätsmaß betrachtet, so ist



(a) Diese Heatmap zeigt die simulierten Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tordifferenz und der Eckendifferenz.Die Achsenbeschriftung gibt dabei die Eckendifferenz und die Tordifferenz für das Feld rechts oberhalb an

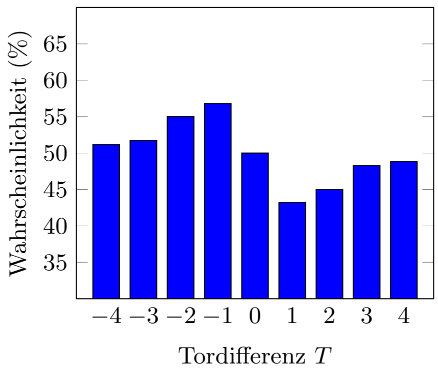


(b) Simulierte Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tordifferenz für Eckendifferenz $c = 0$

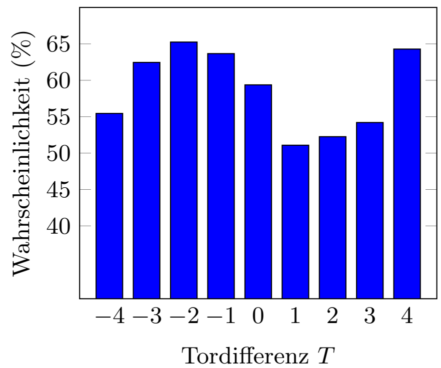


(c) Simulierte Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tordifferenz für Eckendifferenz $c = 2$

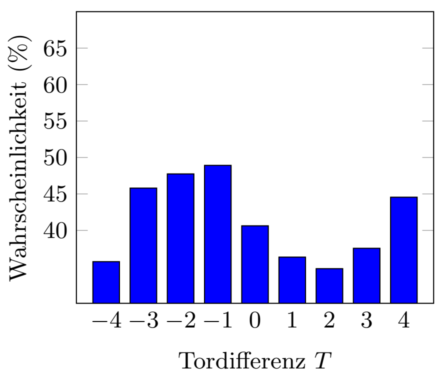
Abb. 5: Wahrscheinlichkeiten, dass ein Team mit einer bestimmten Tordifferenz und Eckendifferenz den nächsten Eckball erhält. Die Wahrscheinlichkeiten wurden durch Simulation der in Abschnitt 5 beschriebenen Markow-Kette gewonnen



(a) Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Tordifferenz T für Eckendifferenz $d = 0$



(b) Wahrscheinlichkeitin Abhängigkeit von der Tordifferenz T für Eckendifferenz $d > 0$



(c) Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Tordifferenz T für Eckendifferenz $d < 0$

Abb. 6: Wahrscheinlichkeit, dass ein Team die nächste Ecke erhält in Abhängigkeit von der momentanen Tordifferenz und dem Vorzeichen der Eckendifferenz. Die Wahrscheinlichkeit wurde direkt aus den Häufigkeiten der Ecken im Datensatz geschätzt unklar, warum schlechtere Mannschaften mehr Ecken erreichen sollten als bessere. Insbesondere müsste sich dann dieser Trend für deutlich schlechtere Mannschaften wieder umkehren, da die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft die nächste Ecke zugesprochen bekommt, wieder abnimmt wenn die Mannschaft deutlich im Rückstand liegt. Es ist daher zu vermuten, dass dies tatsächlich ein Effekt ist, der auf einem veränderten Spielverhalten der Mannschaften zurückzuführen ist.

6.4 Produktion von Toren anhand der Eckendifferenz

Zuletzt betrachten wir, ob sich aus der Eckendifferenz heraus Aussagen über die Produktion von Toren machen lassen. In Abschnitt 3 wurde hierzu die Hypothese aufgestellt, dass eine Mannschaft mit größerer Wahrscheinlichkeit das nächste Tor erzielt, wenn sie mehr Ecken erreicht. Um diese Aussage zu untersuchen, wenden wir eine ähnliche Strategie wie im vorherigen Abschnitt an: Wir simulieren die Markow-Kette auch von jedem Zustand aus, allerdings bestimmen wir dieses Mal die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt. Wir erhalten daraus für die beiden Teams A und B die Wahrscheinlichkeiten $r_X = P[\text{Team X erzielt das nächste Tor}]$. Aus diesen Wahrscheinlichkeiten heraus schätzen wir dann die Wahrscheinlichkeit

$$s_{T,d} := P[\text{Team A erzielt das nächste Tor}|\text{Es gibt ein Tor}] = \frac{r_A}{r_A + r_B} \ .$$

Als zweite Methode zur Überprüfung der Ergebnisse, die aus der Markow-Kette abgeleitet wurden, wurde versucht, die Wahrscheinlichkeit direkt zu schätzen. Dazu wurde die Anzahl der Tore $g_{s,d}$ bestimmt, die bei einer Eckendifferenz d und Tordifferenz T mit $\operatorname{sgn}(T) = s$ geschossen wurden.[2] Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor schießen wird, wurde dann mit $\frac{g_{s,d}}{g_{s,d}+g_{-s,-d}}$ geschätzt.

Resultate Die Ergebnisse der Simulation sind in Abb. 7 dargestellt. Die Schätzung der Wahrscheinlichkeit direkt durch die Häufigkeiten im Datensatz werden in Abb. 8 dargestellt. Aus beiden ergibt sich, dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt, tendenziell in der momentanen Eckendifferenz zunehmend ist.

Diskussion Die Ergebnisse sind im Einklang mit der aufgestellten Hypothese H4: Es scheint im Mittel einen Zusammenhang dahingehend zu geben, dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt, mit der momentanen Eckendifferenz zunimmt. Allerdings deuten die Graphen für die momentane Tordifferenz $T = 0$ darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit kaum noch zunimmt oder möglicherweise sogar abnimmt, wenn die Eckendifferenz betragsmäßig etwa den Wert 3 erreicht. Für andere Werte der Tordifferenzen

[2] Es wurde nicht direkt nach der Tordifferenz partitioniert, da dies die Häufigkeiten so klein wurden, dass die Qualität der Schätzungen zu gering war.

scheint sich diese Grenze allerdings weiter nach außen zu verschieben. Weitere Untersuchungen wären hier notwendig, um diese weitere Entwicklung einschätzen zu können. Der verwendete Datensatz erlaubt diese Untersuchungen allerdings nicht, da die Anzahl der Tore bei großen Eckendifferenzen zu schnell zu klein wird, um hier sichere Aussagen treffen zu können.

7 Fazit

Folgende Ergebnisse haben sich in der Untersuchung gezeigt:

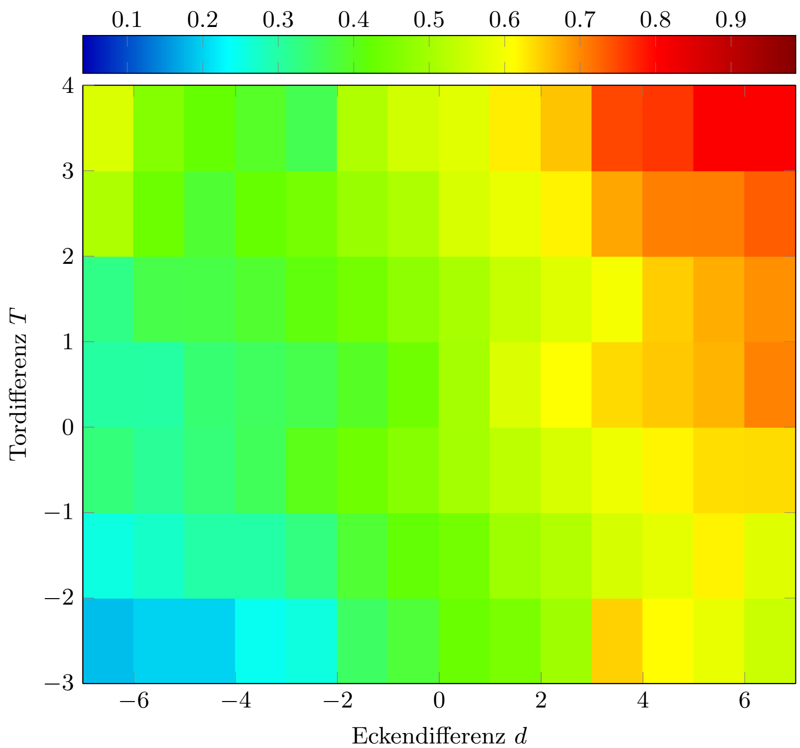
- Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tor unmittelbar aus einer Ecke erzielt wird, ändert sich nicht, wenn eine Mannschaft in Führung geht oder in Rückstand gerät.
- Das Tore-Ecken-Verhältnis wird umso größer, je deutlicher eine Mannschaft eine Führung geht.
- Wenn eine Mannschaft in Führung geht oder den Ausgleich erzielt, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie den nächsten Eckball erzielt.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt, nimmt in der Eckendifferenz zu, wenn die aktuelle Tordifferenz fixiert wird.

Es zeigt sich daher, dass sich bei Untersuchungen während des Spielverlaufs durchaus Aussagen mithilfe von Ecken oder der abgeleiteten Eckendifferenz machen lassen. Es handelt sich bei Ecken also nicht um nutzlose Information.

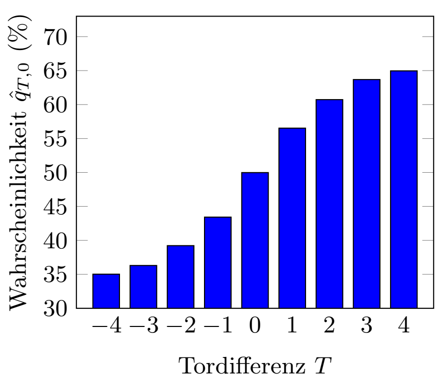
Gleichzeitig ergibt sich aus den Untersuchungen auch einen Anhaltspunkt, warum die Anzahl der Ecken aggregiert über das gesamte Spiel einen kaum messbaren Zusammenhang der durchschnittlichen Anzahl der Tore und Anzahl der Ecken eines Teams oder der Wahrscheinlichkeit eines Sieges und der Anzahl der Ecken im Spiel gibt. Auf der einen Seite nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Mannschaft das nächste Tor erzielt mit der Eckendifferenz zu, wenn der Spielstand festgehalten wird. Auf der anderen Seite nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, dass eine Mannschaft die nächste Ecke erhält, wenn sie in Führung geht. Diese beiden Effekte wirken gegeneinander und könnten gemeinsamen zu dieser Beobachtung führen.

Literatur

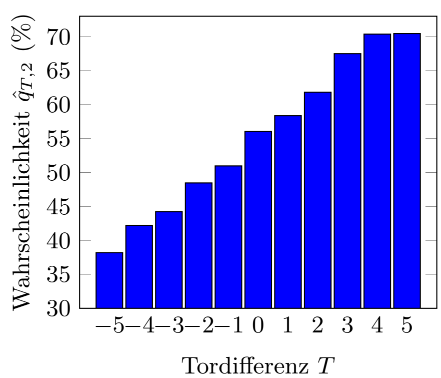
1. Loy, R.: Zur Diagnostik taktischer Leistungen im Sportspiel. (2005) 515–520
2. Taylor, J.B., James, N., Mellalieu, S.D.: Notational analysis of corner kicks in english premier league soccer. In: Science and Football V: the Proceedings of the Fifth World Congress on Football. (2005) 229–234
3. Anderson, C., Sally, D.: The goal value of corners: Zero. http://www.soccerbythenumbers.com/2011/02/goal-value-of-corners-zero.html (11. Februar 2011)



(a) Diese Heatmap zeigt die simulierten Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Tordifferenz und der Eckendifferenz.Die Achsenbeschriftung gibt dabei die Eckendifferenz und die Tordifferenz für das Feld rechts oberhalb an

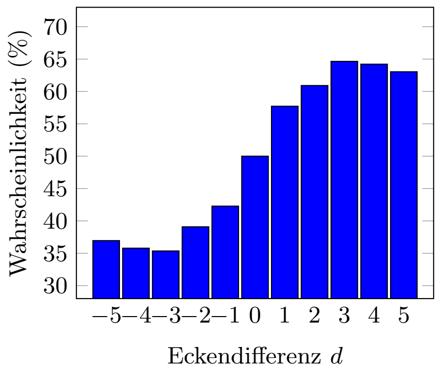


(b) Simulierte Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Eckendifferenz für Tordifferenz $T = 0$

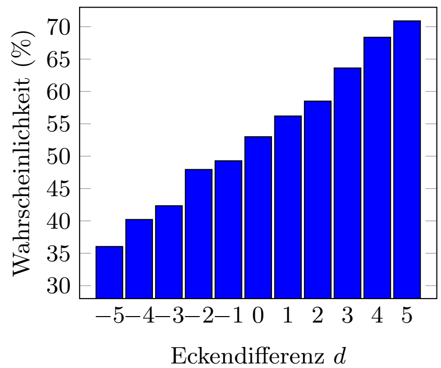


(c) Simulierte Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Eckendifferenz für Tordifferenz $T = 2$

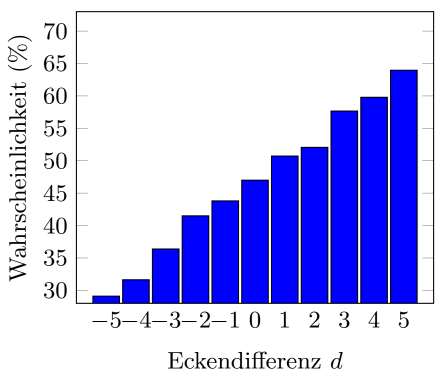
Abb. 7: Wahrscheinlichkeiten, dass ein Team mit einer bestimmten Tordifferenz und Eckendifferenz das nächste Tor erzielt. Die Wahrscheinlichkeiten wurden durch Simulation der in Abschnitt 5 beschriebenen Markow-Kette gewonnen



(a) Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Eckendifferenz d für Tordifferenz $T = 0$



(b) Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Tordifferenz T für Tordifferenz $T > 0$



(c) Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Eckendifferenz d für Tordifferenz $T < 0$

Abb. 8: Wahrscheinlichkeit, dass ein Team das nächste Tor erzielt in Abhängigkeit von der momentanen Eckendifferenz und dem Vorzeichen der Tordifferenz. Die Wahrscheinlichkeit wurde direkt aus den Häufigkeiten der Tore im Datensatz geschätzt