

# Erklärung von Klassifikatoren des maschinellen Lernens durch vielfältige kontrafaktische Erklärungen

Explaining Machine Learning Classifiers through Diverse Counterfactual Explanations

Fabian Wagner

Seminar

Betreuer: Prof. Dr. Jörn Schneider, Marvin Schneider

Trier, 11.02.2026

---

## Kurzfassung

KI-Systeme treffen immer mehr Entscheidungen, die das Leben von Menschen beeinflussen, wie Gewährung von Krediten oder die Klassifikation von Bewerbungen. Umso wichtiger ist die Nachvollziehbarkeit und eine Erklärung wieso diese Entscheidung getroffen wurde und was geändert werden muss, um ein anderes Ergebnis zu erhalten. Ein möglicher Erklärungsansatz, welcher konkrete Handlungsanweisungen aufzeigen kann, ist Diverse Counterfactual Explanations (DiCE). Hierbei werden diverse Gegenbeispiele generiert, um dem Anwender verschiedene Möglichkeiten zum Lösen des Problems zu geben.

Die Methodik von DiCE verwendet eine kombinierte Verlustfunktion zur gleichzeitigen Optimierung von Gültigkeit, Proximität und Diversität. Während Proximität die Ähnlichkeit zur ursprünglichen Eingabe sicherstellt, bietet Diversität dem Anwender möglichst unterschiedliche Handlungsanweisungen. Es ist zu beachten, dass die beiden Konzepte hierbei konkurrierende Ziele verfolgen. Die Sparsität minimiert die Anzahl der geänderten Features in einem Nachbearbeitungsschritt, um die Machbarkeit der Beispiele zu erhöhen.

Die Evaluation des Verfahrens wird anhand von vier Datensätzen und dem Vergleich mit vier Baselines und LIME durchgeführt. DiCE erreicht eine nahezu 100%-ige Gültigkeit. Die Baselines fallen bei steigender Zahl an zu generierenden Beispielen stark ab. Die lokale Entscheidungsgrenze kann durch DiCE ebenfalls besser als LIME annähern. In der Praxis ist DiCE jedoch stark von der Vorarbeit der Anwender durch explizite Angabe von Randbedingungen abhängig, um hilfreiche Erklärungen zu generieren.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Grundlegende Begriffe	2
2.1.1	Modell des maschinellen Lernens	2
2.1.2	Kontrafaktische Erklärungen	3
2.1.3	Einordnung von Erklärungsmodellen	3
2.2	Definition von DiCE	3
<b>3</b>	<b>Methodisches Vorgehen</b>	<b>5</b>
3.1	Zentrale Konzepte	6
3.2	Optimierung der Counterfactuals	7
<b>4</b>	<b>Evaluation der Methodik</b>	<b>9</b>
4.1	Evaluationsmetriken	9
4.2	Bewertung der Evaluationsqualität	11
4.2.1	Bewertung der Evaluationsmetriken	11
4.2.2	Näherung der Entscheidungsgrenze	11
4.3	Vergleich mit anderen Ansätzen	12
4.3.1	Baselines und LIME	12
4.3.2	Ergebnisse	13
<b>5</b>	<b>Anwendbarkeit und Bedeutung in der Praxis</b>	<b>15</b>
5.1	Relevanz in der Praxis	15
5.2	Demonstration eines Beispiels	15
5.2.1	Vorbereitungsschritte	16
5.2.2	Generierung von Erklärungen	17
5.2.3	Evaluation des Beispiels	19
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Kritik</b>	<b>21</b>
6.1	Zusammenfassung	21
6.2	Kritische Betrachtung	22
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>

---

<b>Eigenständigkeitserklärung</b> .....	25
---	----

## Einleitung und Problemstellung

Künstliche Intelligenz etabliert sich zu einem festen Bestandteil der Arbeitswelt und dem Alltag. Neben dem Einsatz als Chatbot oder Assistenten treffen KI-Systeme vermehrt Entscheidungen, welche folgenschwere Konsequenzen auf das Leben haben. Die Nachvollziehbarkeit einer solchen Entscheidung ist für den sicheren und fairen Einsatz von KIs von zentraler Bedeutung. Erklärbare KI (xAI) befasst sich mit der Fragestellung die getroffene Klassifikation einer KI für den Menschen verständlich und nachvollziehbar zu machen.

Ziel der Seminararbeit ist die Analyse und Evaluation der Methodik von DiCE [MST20] sowie die Bewertung für die Anwendbarkeit der Methode in der Praxis. Der Ansatz von DiCE beruht auf der Erklärung durch Beispiele, die ähnlich zur ursprünglichen Eingabe sind, jedoch nicht zur gleichen Klassifikation durch die KI führen. Als erstes werden grundlegende Begriffe erklärt, welche für das Verständnis der Arbeit notwendig sind. Anschließend wird das methodische Vorgehen von DiCE untersucht. Hierzu werden die Konzepte Diversity, Proximity, Sparsity, User Constraints sowie Feasibility erläutert und deren Abhängigkeiten betrachtet. Die Bewertung von DiCE erfolgt mithilfe von Evaluationsmetriken für die einzelnen Konzepte, welche zuvor definiert werden. Weiterhin wird ein Beispiel demonstriert, an dem die Verständlichkeit einer solchen Erklärung durch Counterfactuals verdeutlicht werden soll. Abschließend folgt eine Zusammenfassung und kritische Diskussion der vorgestellten Methodik.

## Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst wichtige Begriffe aus dem Bereich der erklär-  
baren KI vorgestellt und in dem Kontext von DiCE erläutert.

### 2.1 Grundlegende Begriffe

Das Framework DiCE wird primär im Bereich der überwachten Klassifikation ein-  
gesetzt, weshalb der Fokus der folgenden Definitionen auf diesem Teilbereich des  
maschinellen Lernens liegt.

#### 2.1.1 Modell des maschinellen Lernens

Im Kontext dieser Arbeit wird ein **Modell des maschinellen Lernens** als eine  
Funktion betrachtet, die Eingabedaten einer bestimmten Kategorie zuordnet. Die  
Eingabe erfolgt in Form eines **Feature-Vektors**, welcher die numerischen und ka-  
tegorialen Merkmale eines Objekts zusammenfasst. Das Ergebnis der Verarbeitung  
ist die Zuordnung zu einer diskreten **Klasse**, wie in Abbildung 2.1 exemplarisch  
gezeigt wird. Während ML-Modelle auch für kontinuierliche Vorhersagen genutzt  
werden können, konzentriert sich die Generierung von Counterfactuals auf die Ver-  
änderung der Klassenzugehörigkeit.

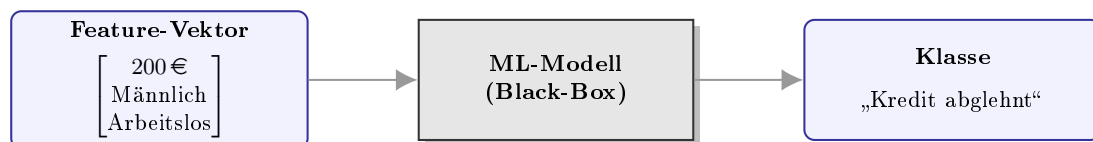


Abbildung 2.1: Visualisierung der Datenverarbeitung: Eine ursprüngliche Eingabe als Feature-Vektor wird durch das ML-Modell einer Klasse zugeordnet. Das ML-Modell lehnt den Antrag auf einen Kredit von einer männlichen, arbeitslosen Person mit einem Einkommen von 200€ ab.

### 2.1.2 Kontrafaktische Erklärungen

Eine **kontrafaktische Erklärung**, auch Counterfactual (CF) genannt, ist ein modifiziertes Gegenbeispiel zur ursprünglichen Eingabe, welches so gewählt wird, dass das Modell eine **erwünschte Klasse** (CF-Klasse) ausgibt. Das Ziel eines von DiCE generierten Counterfactuals ist es, dem Anwender die minimal notwendigen Änderungen aufzuzeigen, um ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen. Ein Beispiel für eine Erklärung ist in Abbildung 2.2 gegeben. Im Vergleich zur ursprünglichen Eingabe (Abb. 2.1) wird dem Anwender aufgezeigt, dass bei einem höheren Einkommen und einer Anstellung als Beamter der gewünschte Kredit gewährt wird.[MST20]

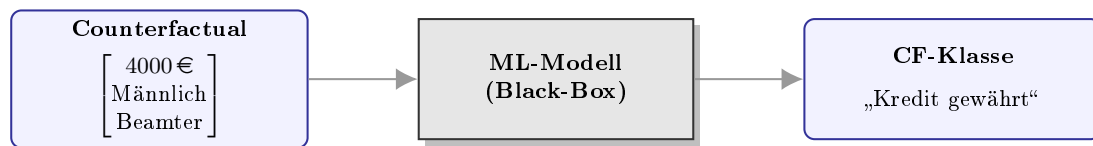


Abbildung 2.2: Beispielhafte kontrafaktische Erklärung im Bezug auf Abbildung 2.1, sodass durch Variation der Eingabe die gewünschte Klasse erreicht wird. Das Counterfactual zeigt, dass eine Erhöhung des Einkommens und eine Anstellung den gewünschten Kredit durch das Modell ermöglichen würde.

### 2.1.3 Einordnung von Erklärungsmodellen

Die Notwendigkeit für Verfahren wie DiCE ergibt sich aus der Komplexität moderner **Black-Box**-Modelle. Im Gegensatz zu **White-Box**-Modellen ist deren interne Logik nicht unmittelbar nachvollziehbar[LG19]. Erklärungsansätze lassen sich in zwei Kategorien, global und lokal, unterteilen. **Globale** Ansätze versuchen, das Modellverhalten in seiner Gesamtheit zu interpretieren, während **lokale** Ansätze, zu denen auch die kontrafaktischen Erklärungen zählen, die Entscheidung für einen spezifischen Einzelfall begründen[BATGL<sup>+</sup>19].

## 2.2 Definition von DiCE

**Diverse Counterfactual Explanations** (DiCE) ist ein Erklärungsansatz, um Entscheidungen von ML-Modellen für den Menschen verständlich zu machen. Es handelt sich um ein lokales, post-hoc Verfahren für Black-Box-Modelle. Die Erklärung des Modells findet somit nach der Trainingsphase statt und dient lediglich der Bewertung, Nachvollziehbarkeit sowie dem Aufzeigen von Schwächen oder einem Bias<sup>1</sup> in den Ausgaben des Modells. DiCE generiert zu einer Eingabe verschiedene Counterfactuals, um dem Anwender aufzuzeigen, welche Parameter sich für eine

<sup>1</sup> Bias ist eine Voreingenommenheit des Modells aufgrund von Merkmalen wie Geschlecht oder ethnischer Herkunft.

---

andere Klassifikation durch das ML-Modell ändern müssen. Eine wichtige Voraussetzung an das Verfahren ist, dass die Ausgabe binär sein muss. Die Counterfactuals werden so generiert, dass sie möglichst unterschiedlich sind, dabei jedoch möglichst nahe an der ursprünglichen Eingabe bleiben.[MST20]



## Methodisches Vorgehen

Nachdem die theoretischen Grundlagen definiert wurden, befasst sich dieses Kapitel mit dem methodischen Vorgehen von DiCE.

Die Kernidee lässt sich am besten als ein Suchprozess beschreiben. Ausgehend von einer ursprünglichen Eingabe, die zu einem unerwünschten Ergebnis geführt hat, sucht das Verfahren nach einer optimalen Menge von Alternativszenarien, wie in Abbildung 3.1 dargestellt wird. Anstatt dem Anwender lediglich zu sagen, dass der Kredit abgelehnt wurde, generiert DiCE eine Erklärung, was hätte anders sein müssen, um das gewünschte Resultat zu erhalten. DiCE kann aufzeigen, dass der Kredit bewilligt worden wäre, wenn beispielsweise das Einkommen um 100€ höher oder die Kreditsumme um 5000€ niedriger ausgefallen wäre.

Der methodische Ablauf von DiCE lässt sich in drei Phasen unterteilen:

1. **Initialisierung:** Zufällige Initialisierung der Counterfactuals.
2. **Optimierung:** Optimierung der Counterfactuals durch iterative Minimierung der Verlustfunktion.
3. **Nachbearbeitung:** Anpassung der Ergebnisse zur Steigerung der Sparsität.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die zentralen Konzepte erläutert, bevor die mathematische Formulierung der Verlustfunktion zur Optimierung der Counterfactuals untersucht wird.

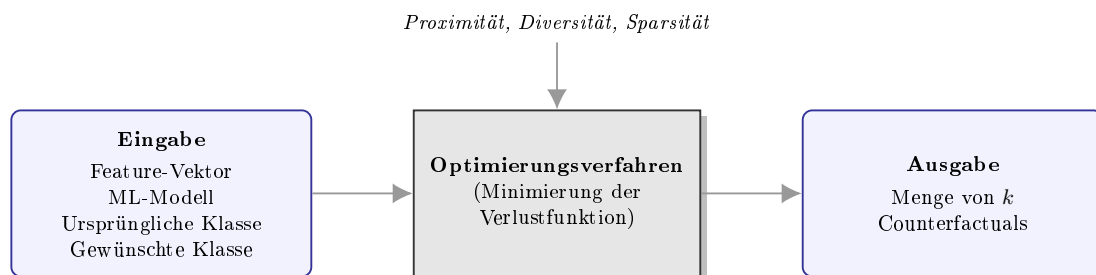


Abbildung 3.1: Methodischer Überblick der Counterfactual-Generierung: Basierend auf der ursprünglichen Eingabe und dem Modell sucht DiCE nach neuen Beispielen, welche die zentralen Konzepte bestmöglich erfüllen.

### 3.1 Zentrale Konzepte

**Diversität** beschreibt, wie sich die generierten Counterfactuals voneinander unterscheiden. Eine hohe Vielfältigkeit zeigt dem Anwender nicht nur mehrere Möglichkeiten zum Erreichen einer anderen Klassifikation auf, wodurch sich die Machbarkeit erhöht, sondern lässt auch größere Rückschlüsse auf das Entscheidungsverhalten des ML-Modells zu. Machbarkeit bedeutet im Kontext von DiCE, ob eine Möglichkeit für einen spezifischen Anwender theoretisch realisierbar ist. Zum Beispiel kann ein Mensch seine ethnische Herkunft nicht ändern, jedoch ist das Erlernen einer neuen Sprache möglich. Um Diversität zu berücksichtigen, wird in DiCE das Konzept der **D**eterminantal **P**oint **P**rocesses (DPP) verwendet, um das *Subset Selection Problem* zu lösen. Das Problem beschreibt dabei die Auswahl von wenigen CFs aus einer unendlich großen Menge an möglichen Beispielen, welche zeitgleich gültig als auch divers sind. In Gleichung 3.1 beschreibt  $dist(c_i, c_j)$  die Distanz zwischen zwei Counterfactuals. Somit führt eine kleine Ähnlichkeit  $K_{i,j}$  der CFs zu einer großen Determinante  $det(K)$  und Maximierung der Diversität.[MST20, KT<sup>+</sup>12]

$$dpp\_diversity = det(K), \text{ mit } K_{i,j} = \frac{1}{1 + dist(c_i, c_j)} \quad (3.1)$$

Diversität alleine ist nicht ausreichend, um einem Anwender eine Erklärung zu geben. Die generierten CFs sollten nicht nur unterschiedlich sein, sondern müssen möglichst nah an der ursprünglichen Eingabe sein. Diese **Proximität** ist für die Machbarkeit von zentraler Bedeutung, da Anwender den meisten Nutzen aus ähnlichen Counterfactuals erhalten. Die Proximität eines CFs ergibt sich aus der negative Distanz zwischen dem Counterfactual  $c_i$  und dem Eingabevektor  $x$ . Eine geringe Distanz resultiert in einer hohen Proximität. Die Berechnung der mittleren Proximität einer Menge von CFs ist in Gleichung 3.2 dargestellt.[MST20]

$$Proximity = -\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k dist(c_i, x) \quad (3.2)$$

Eine weitere Eigenschaft für die Machbarkeit oder auch Umsetzbarkeit der kontrafaktischen Beispiele ist die **Sparsität**. Nach der Proximität ist auch ein Counterfactual nahe an einer Eingabe, wenn jeder Vektoreintrag minimal geändert wird. Dies ist zwar mathematisch korrekt, vernachlässigt aber den Umstand der Machbarkeit für einen Anwender. Ein Counterfactual ist einfacher umzusetzen, wenn sich möglichst wenige Eigenschaften ändern. Sparsität wird über die Anzahl an unterschiedlichen Eigenschaften zwischen Eingabe und Counterfactual gemessen.[MST20]

Weiterhin ist zu beachten, dass zwar ein Counterfactual ähnlich zu dem ursprünglichen Feature-Vektor sein kann, jedoch für den Anwender nicht umsetzbar ist. Aus diesem Grund muss es die Möglichkeit geben, den Wertebereich von Eigenschaften einzuschränken und zum anderen die Änderung von Eigenschaften vollständig zu verhindern.[MST20]

### 3.2 Optimierung der Counterfactuals

DiCE hat das Ziel eine Menge an  $k$  Counterfactuals für einen Eingabevektor  $x$  zu finden. Um die optimale Menge  $C(x)$  zu ermitteln, wird die **Verlustfunktion** in Gleichung 3.3 verwendet und nach den Argumenten gesucht, welche die Gesamtfunktion minimieren. Die Optimierung wird über ein Gradientenabstiegsverfahren realisiert, wobei die  $k$  Counterfactuals zufällig initialisiert werden. Beim Gradientenabstiegsverfahren wird das Minimum einer Funktion schrittweise gesucht, indem jeweils ein Schritt in die Richtung des steilsten Abstiegs gegangen wird.[MST20]

$$C(x) = \arg \min_{c_1, \dots, c_k} \underbrace{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k yloss(f(c_i), y)}_{\text{Term 1: Gültigkeit}} + \underbrace{\frac{\lambda_1}{k} \sum_{i=1}^k dist(c_i, x)}_{\text{Term 2: Proximität}} - \underbrace{\lambda_2 \cdot dpp\_diversity(c_1, \dots, c_k)}_{\text{Term 3: Diversität}} \quad (3.3)$$

Der erste Term beschreibt den mittleren Gültigkeitsfehler, wobei  $yloss(.,.)$  die Distanz zwischen der Vorhersage  $f(c_i)$  des ML-Modells für das Counterfactual  $c_i$  und dem gewünschten Ergebnis  $y$  misst. Die Minimierung dieses Terms führt dazu, dass die generierten Counterfactuals auch valide sind und in der gewünschten Klasse liegen. Für die Funktion  $yloss$  wird eine Hinge-Loss-Funktion verwendet, da ein Counterfactual nur in der gewünschten Klasse liegen muss und nicht möglichst nah am Ziel  $y$  liegen muss. [MST20]

Die Minimierung des zweiten Terms maximiert die Proximität der Counterfactuals  $c_i$ , sodass diese möglichst ähnlich zum ursprünglichen Eingabevektor  $x$  sind. Über den Parameter  $\lambda_1$  kann der Einfluss der Proximität auf das Gesamtergebnis variiert werden. Ein großes  $\lambda_1$  erhöht die Wichtigkeit der Proximität erhöht, sodass die generierten Counterfactuals ähnlicher zu der Eingabe sind. Kategorische Features verwenden eine 0/1-Funktion, sodass in einem Counterfactual geänderte Features mit 1 und unveränderte Features mit 0 gekennzeichnet werden. Kontinuierliche Features verwenden eine  $l_1$ -Distanz, welche durch den Median der absoluten Abweichungen (MAD) dividiert wird. Dies skaliert die Distanz, um Änderungen fair zu gewichten. [MST20]

Um die Gesamtfunktion zu minimieren, muss der dritte Term maximiert werden. Die Gewichtung der Diversität wird mithilfe von  $\lambda_2$  festgelegt, wobei eine Erhöhung des Parameters die Unterschiede zwischen den Counterfactuals erhöht. [MST20]

Die Verlustfunktion bestimmt eine optimale Menge an Counterfactuals bezüglich Gültigkeit, Proximität und Diversität, vernachlässigt jedoch die Sparsität. Aus diesem Grund erfolgt eine Nachbearbeitung der CFs, um die Sparsität zu erhöhen. Dazu wird ein Greedy-Algorithmus verwendet, welcher jedes Counterfactual einzeln betrachtet. Der Algorithmus versucht jedes kontinuierliche Feature des CFs  $c_i$

---

auf den Wert des ursprünglichen Eingabevektors  $x$  zurückzusetzen, ohne dass sich die Vorhersage des ML-Modells  $f(c_i)$  ändert. Dabei wird das Zurücksetzen zuerst bei Features mit geringen Änderungen versucht.[MST20]

## Evaluation der Methodik

In diesem Kapitel werden zunächst die Evaluationsmetriken für Gültigkeit, Proximität, Diversität und Sparsität definiert, um generierte Erklärungen bewerten zu können. Anschließend werden die Metriken bewertet und das Konzept der sogenannten Entscheidungsgrenze als das angestrebte Ziel betrachtet.

### 4.1 Evaluationsmetriken

Die Gültigkeitsmetrik in Gleichung 4.1 beschreibt den Anteil  $\%ValidCFs$  an eindeutigen Counterfactuals aus der Menge  $C$  aller generierten Erklärungen, wobei  $k$  die Anzahl an geforderten CFs ist. Gültigkeit ist ein wichtiges Maß, da DiCE nicht auf die Einzigartigkeit der Erklärungen prüft.[MST20]

$$\%ValidCFs = \frac{|\{\text{unique instance in } C \text{ s.t. } f(c) > 0.5\}|}{k} \quad (4.1)$$

Die Proximitätsmetrik bewertet, wie nah die Counterfactuals  $c_i$  an der ursprünglichen Eingabe  $x$  im Feature-Raum sind. Die kontinuierlichen und kategorialen Features werden getrennt evaluiert. In Gleichung 4.2 werden zunächst die Distanzen  $dist\_cont$  der kontinuierlichen Features der einzelnen Counterfactuals im Bezug auf die ursprüngliche Eingabe berechnet. Anschließend wird der Mittelwert dieser Distanzen über alle  $k$  generierten Counterfactuals gebildet. Abschließend wird der Wert negativ dargestellt, um die Metrik von der Distanz in einen Proximitätswert umzuwandeln, sodass eine kleine Distanz in einer großen Nähe resultiert.[MST20]

$$ContinuousProximity := -\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k dist\_cont(c_i, x) \quad (4.2)$$

In Gleichung 4.3 wird zunächst die Distanz  $dist\_cat$  der kategorialen Features der einzelnen Counterfactuals im Bezug auf die ursprüngliche Eingabe berechnet, welche zählt, wie viele kategoriale Features sich geändert haben. Anschließend wird der Mittelwert der Distanzen über alle  $k$  generierten Counterfactuals gebildet. Um den Anteil der kategorialen Features zu repräsentieren, welche nicht geändert

wurden, wird in einem letzten Schritt die Distanz von Eins subtrahiert. Eine hohe kategoriale Proximität resultiert somit in einem Wert nahe Eins, da nur wenige kategorialen Features geändert wurden.[MST20]

$$CategoricalProximity := 1 - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k dist\_cat(c_i, x) \quad (4.3)$$

Sparsität ist eine Metrik, um die Machbarkeit der generierten Erklärungen zu bewerten. Dieser Wert ist für kategoriale Features identisch mit der Proximität. Einfachheitshalber werden kontinuierliche und kategoriale Merkmale in der Sparsität zu einer einzigen Metrik in Gleichung 4.4 zusammengefasst. Für jedes Counterfactual  $c_i$  wird die Anzahl an veränderten Features im Vergleich zur ursprünglichen Eingabe  $x$  gezählt. Jedes der  $k$  Counterfactuals besitzt  $d$  Merkmale. Anschließend wird der Mittelwert über alle Counterfactuals und Features berechnet und von Eins subtrahiert. Ein hoher Sparsitätswert nahe Eins bedeutet, dass nur wenige Features in den Erklärungen verändert wurden und ist für eine Umsetzbarkeit der Erklärungen anzustreben.[MST20]

$$Sparsity := 1 - \frac{1}{kd} \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^d 1_{[c_i^l \neq x_i^l]} \quad (4.4)$$

Die Diversitätsmetrik wird analog zur Proximität definiert und in kontinuierliche und kategoriale Diversität aufgeteilt, wie in den Gleichungen 4.5 und 4.6 dargestellt ist. Der Unterschied liegt darin, dass nun die Distanz der Features zwischen zwei Counterfactuals  $c_i$  und  $c_j$  gemessen wird. Die Anzahl aller möglichen CF-Paare ist  $C_k^2$ . Im Anschluss an die Berechnung der kategorialen und kontinuierlichen Distanz wird jeweils der Mittelwert über die Distanzen gebildet. Ein hoher Wert bedeutet, dass eine große Diversität zwischen den einzelnen Erklärungen vorliegt. Dies resultiert in größeren Unterschieden zwischen den Counterfactuals, wodurch die Umsetzbarkeit für den Anwender wahrscheinlicher wird. [MST20]

$$ContinuousDiversity := \Delta = \frac{1}{C_k^2} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k dist\_cont(c_i, c_j) \quad (4.5)$$

$$CategoricalDiversity := \Delta = \frac{1}{C_k^2} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k dist\_cat(c_i, c_j) \quad (4.6)$$

Analog zu der Sparsität kann eine weitere Diversitätsmetrik (Gleichung 4.7) formuliert werden, welche den Durchschnitt aller unterschiedlichen Features beim paarweisen Vergleich der Counterfactuals angibt. [MST20]

$$CountDiversity := \Delta = \frac{1}{C_k^2 d} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \sum_{l=1}^d 1_{[c_i^l \neq c_j^l]} \quad (4.7)$$

## 4.2 Bewertung der Evaluationsqualität

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Evaluationsmetriken definiert wurden, muss nun deren Güte überprüft werden. Die Funktion der Metriken ist die Bewertung einer Menge von generierten Erklärungen im Hinblick auf Gültigkeit, Proximität, Sparsität und Diversität.

### 4.2.1 Bewertung der Evaluationsmetriken

Die Gültigkeitsmetrik stellt sicher, dass die Counterfactuals tatsächlich einzigartige und passende Erklärungen für das vorliegende Problem sind. Eine Erklärung, die nicht korrekt in die gewünschte Zielklasse klassifiziert wird, ist wertlos. Dies gilt auch für mehrfache Generierungen derselben Erklärung, da keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden können.[MST20]

Um die Nähe zwischen der Eingabe und den Counterfactuals zu bewerten, sind die Proximitäts- und Sparsitätsmetriken notwendig. Sie sind zentraler Bestandteil, um eine Aussage über die Umsetzbarkeit von Erklärungen tätigen zu können. Je näher eine Erklärung an der ursprünglichen Eingabe ist, desto höher ist die Umsetzbarkeit dieser Erklärung in der Praxis. Eine niedrige Proximität zwischen Erklärung und Ursprung führt zum Verlust des Zusammenhangs, wodurch die Erklärungen nutzlos werden. Dies verhindert jedoch nicht, dass alle Features gleichzeitig variiert werden. Aus diesem Grund ist Sparsität als separate Metrik relevant, da sie sicherstellt, dass nur eine minimale Anzahl an Merkmalen verändert wird. Dies garantiert, dass der Anwender nur möglichst wenige Anpassungen vornehmen muss.[MST20]

Die bisherigen Metriken stellen sicher, dass die Counterfactuals zwar valide, einzigartig und nahe an der Eingabe sind, vernachlässigen jedoch die Beziehung zwischen den Erklärungen selbst. Die Maximierung der Unterschiede zwischen den Counterfactuals wird durch die Diversität erreicht. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die CF-Menge eine für den Anwender umsetzbare Erklärung beinhaltet. Damit ist Diversität für den Anwender essentiell, um die Entscheidungsgrenze des ML-Modells besser verstehen zu können. Es ist jedoch zu beachten, dass eine hohe Diversität auf Kosten der Proximität geht, da sie konkurrierende Ziele verfolgen.[MST20]

### 4.2.2 Näherung der Entscheidungsgrenze

Die Optimierung der besprochenen Metriken ist wünschenswert, doch sie sind nicht das endgültige Ziel. Das Ziel von DiCE ist es, mithilfe von Counterfactuals einem Anwender die lokale Entscheidungsgrenze und Logik von ML-Modellen aufzuzeigen. Dies soll dem Anwender ermöglichen, die Entscheidungen, die ein Modell für ähnliche Eingaben treffen wird, vorherzusagen. Eine visuelle Darstellung einer Entscheidungsgrenze ist beispielhaft in Abbildung 4.1 dargestellt.[MST20]

Eine Metrik für eine Messung der Entscheidung, wird über die Verwendung eines weiteren ML-Modells realisiert. Dieses wird auf den generierten Counterfactuals

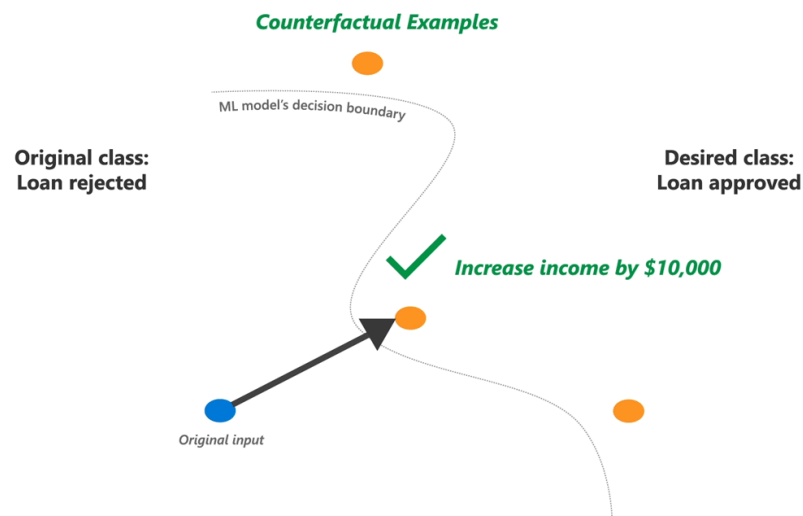


Abbildung 4.1: Visualisierung einer lokalen Entscheidungsgrenze, um die gewünschte Klasse zu erhalten. [<https://interpret.ml/DiCE/>]

und der ursprünglichen Eingabe trainiert und simuliert einen Anwender. Die Güte der Erklärungen kann daran gemessen werden, wie gut das zweite ML-Modell das ursprüngliche Modell imitieren kann.[MST20]

## 4.3 Vergleich mit anderen Ansätzen

Die Wirksamkeit von DiCE wurde von den Autoren anhand von vier realen Datensätzen (Adult-Income, LendingClub, German-Credit und COMPAS) evaluiert und mit Baselines sowie LIME verglichen. Dazu werden zunächst die alternativen Ansätze vorgestellt und anschließend die zentralen Ergebnisse zusammengefasst.

### 4.3.1 Baselines und LIME

Vier Baselines werden zum Vergleich für die Generierung von Counterfactuals eingesetzt. **SingleCF** generiert ein einzelnes auf Proximität und Gültigkeit optimiertes Counterfactual [WMR17]. Die Methode **MixedIntegerCF** generiert diverse Erklärungen durch Mixed Integer Programming [Rus19]. Eine Erweiterung der SingleCF ist die Methode **RandomInitCF** zur Generierung von  $k$  Counterfactuals mit zufälligen Startpunkten und einer nicht-konvexen<sup>1</sup> Verlustfunktion. Die letzte Methode ist **NoDiversityCF**, wobei es die Verlustfunktion analog wie in DiCE zur gleichzeitigen Optimierung der Counterfactuals verwendet, wobei jedoch der  $\lambda_2$ -Parameter auf Null gesetzt wird, sodass der Diversitätsterm ignoriert wird. Die nach der DiCE-Methodik generierten Counterfactuals werden als **DiversityCF** bezeichnet. Der optionale Nachbearbeitungsschritt zur Erhöhung der Sparsität wird separat betrachtet, indem der Zusatzterm **Sparse** angehängt wird.[MST20]

<sup>1</sup> Nicht-konvexe Funktionen besitzen mehrere (lokale) Minima.



Weiterhin wird DiCE mit LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) verglichen. Dieses Verfahren verfolgt einen merkmalsbasierten Erklärungsansatz, also dass die Wichtigkeit einzelner Features für eine Entscheidung bestimmt. LIME verwendet dafür ein vereinfachtes Ersatzmodell, sodass die Erklärung nicht wahrheitsgetreu gegenüber dem Originalmodell sein muss.[RSG16]

### 4.3.2 Ergebnisse

Über alle Datensätze hinweg zeigt DiCE durchgehend eine sehr hohe Gültigkeit (siehe Abb. 4.2) von fast 100% bei der Generierung von Counterfactuals. MixedIntegerCF hingegen weist über alle Datensätze eine mit der Anzahl an Erklärungen sinkende Gültigkeit auf. NoDiverseCF und RandomInitCF weisen eine hohe Gültigkeit, vergleichbar mit DiCE auf, wobei beim Datensatz COMPAS die Gültigkeit bei steigender Anzahl an geforderten CFs stark abfällt. Dies liegt an der fehlenden Diversität der Verfahren, sodass redundante Counterfactuals generiert werden. Aus diesem Grund weist DiCE bei der Diversität bessere Werte als die Vergleichsmethoden auf, unabhängig ob kategoriale oder kontinuierliche Features betrachtet werden. Dies hat Auswirkungen auf die Ergebnisse der Proximität und Sparsität, bei denen DiCE etwas geringere Werte als die nicht-diversen Methoden erzielt.[MST20]

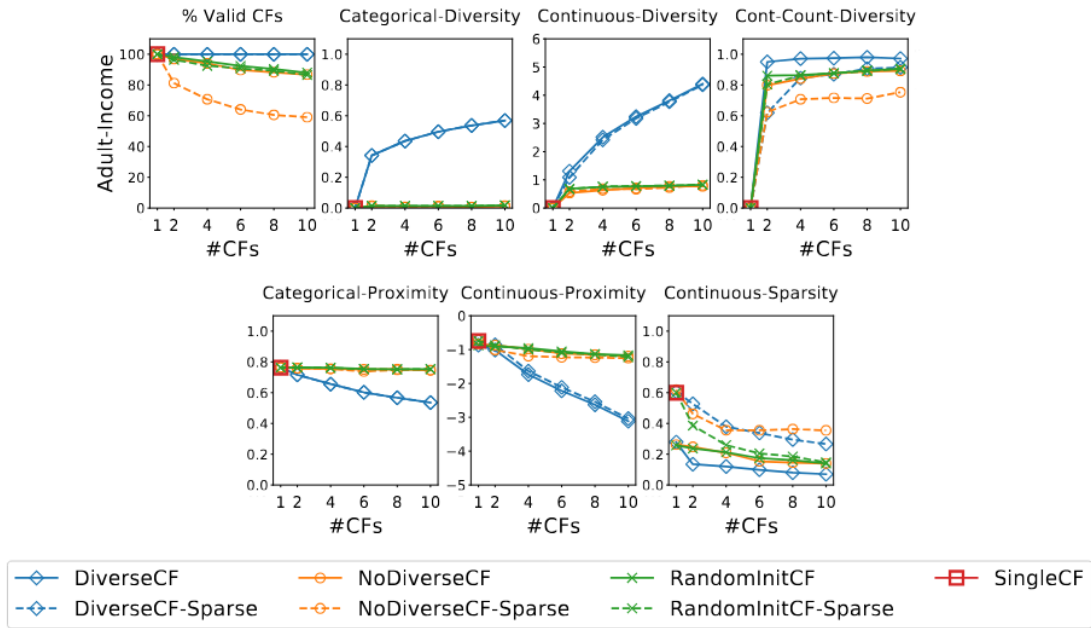


Abbildung 4.2: Auszug aus den experimentellen Ergebnissen des Papers [MST20] für den Datensatz *Adult-Income*. Es werden die Baselines mit DiCE, hier *DiverseCF* genannt, unter Verwendung der Metriken für Diversität, Proximität und Sparsität verglichen. Die Auswertungen enthalten Werte für CF-Mengen mit einem bis zehn Counterfactuals.

Neben der quantitativen Evaluation wurde auch die Näherung der Entscheidungsgrenze untersucht. Hierfür wurde ein einfacher 1-Nearest-Neighbor (1-NN) Klassifikator verwendet und auf Erklärungen (DiCE) oder Stichproben (LIME) trainiert. DiCE erzielte fast durchgehend höhere F1-Scores bei der Vorhersage der CF-Klassen als LIME. F1 ist eine Metrik und kombiniert Recall und Precision in einem Wert. Sie ist ein Maß für wie gut eine Methodik die Klasse korrekt vorhersagen kann. Dies lässt darauf schließen, dass DiCE einem Anwender die Entscheidungsgrenze besser aufzeigen kann. In Abbildung 4.3 fällt zudem auf, dass DiCE hohe Recall-Werte aufweist. Anzumerken ist, dass die Baseline-Verfahren NoDiverseCF und RandomInitCF ähnliche sowie höhere F1-Scores aufweisen. Die Autoren merken an, dass die Aussagekraft dieser Evaluationsmethode begrenzt ist und eine Studie der Goldstandard ist, wobei die generierten Counterfactuals von Menschen auf ihre Erklärungsqualität evaluiert werden.[MST20]

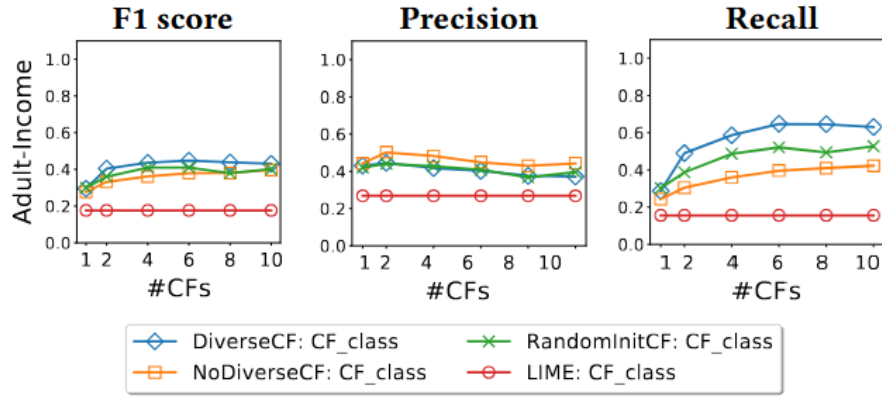


Abbildung 4.3: Auszug aus den experimentellen Ergebnissen des Papers [MST20] für den Datensatz *Adult-Income*. Es werden die F1-Scores (links), Precision (mitte) und Recall (rechts) für DiCE, die Baselines und LIME dargestellt. Die Auswertungen enthalten Werte für CF-Mengen mit einem bis zehn Counterfactuals.

## Anwendbarkeit und Bedeutung in der Praxis

In diesem Kapitel wird DiCE als ein Werkzeug betrachtet, um bestehende Probleme in der Praxis zu lösen. Die Anwendung von DiCE wird anhand eines konkreten Beispiel demonstriert.

### 5.1 Relevanz in der Praxis

Die Anzahl der eingesetzten Black-Box-Modelle steigt in der Welt immer weiter an und trifft Entscheidungen, die das Leben vieler Menschen beeinflussen können. Beispielsweise kann ein solches Modell entscheiden, ob ein Kunde einen Kredit bekommt oder abgelehnt wird. Das Problem hierbei ist, dass der Kunde nun nicht weiß, wie er handeln kann, um den Kredit in Zukunft zu erhalten. Diese Handlungsfähigkeit wird durch die Generierung von Counterfactuals gegeben. Sie liefern dem Anwender mehrere "Was-wäre-wenn"-Szenarien. Aufgrund der Diversität der Erklärungen stehen dem Anwender verschiedene Vorschläge zum Anpassen zur Verfügung und erhöhen so die Umsetzbarkeit von mindestens einer Möglichkeit. Der Einsatz von DiCE ist nicht nur auf den Endanwender beschränkt, sondern kann auch zum Aufdecken von Bias in Modellen verwendet werden. Dies ermöglicht einen breiten Einsatz des Erklärungsansatzes. In der praktischen Anwendung muss berücksichtigt werden, dass viele Features nicht geändert werden können. Dazu zählen das Alter, die ethnische Zugehörigkeit oder auch die Senkung des Bildungsabschlusses. Dieses Problem wird in DiCE durch die manuelle Beschränkung durch den Anwender berücksichtigt, sodass nur plausible Counterfactuals generiert werden. Hierbei liefert DiCE zwei Varianten der Einschränkung. Entweder dürfen Merkmale überhaupt nicht bei der Generierung der Erklärungen verändert werden oder der Wertebereich kann eingeschränkt werden. Dies erlaubt eine große Anpassung auf viele Einsatzsituationen. Es ist zu beachten, dass dies die Gültigkeit und Diversität der Counterfactuals reduzieren kann.[MST20]

### 5.2 Demonstration eines Beispiels

Um die zuvor diskutierte praktische Relevanz zu veranschaulichen, wird die Anwendung von DiCE an einem konkreten Fallbeispiel demonstriert. Das folgende

Beispiel ist auf GitHub<sup>1</sup> von den Autoren zur Verfügung gestellt wurde. Das Beispiel verwendet Python und das Framework Tensorflow 2.x. Alternativ unterstützt DiCE auch die Machine-Learning-Frameworks PyTorch, TensorFlow 1.x und die Bibliothek sklearn, auf die in diesem Anwendungsbeispiel nicht näher eingegangen wird.

Für die Demonstration wird der Datensatz *adult* aus dem UCI Machine Learning Repository<sup>2</sup> verwendet. Der Datensatz enthält 8 Merkmale über Personen und die Einteilung, ob sie ein niedriges oder hohes Einkommen besitzen. Die ersten fünf Einträge des Datensatzes sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

Tabelle 5.1: Die ersten 5 Einträge aus dem adult Datensatz mit den Features: Alter, Beschäftigungsart, Ausbildung, Familienstand, Beruf, Ethnie, Geschlecht und Wochenarbeitszeit sowie der Klasse Einkommen, aufgeteilt in "0"niedriges Einkommen ( $\leq 50K$ ) und "1"hohes Einkommen ( $> 50K$ ).

age	workclass	education	marital_status	occupation	race	gender	h/week	income
28	Private	Bachelors	Single	White-Collar	White	Female	60	0
30	Self-Employed	Assoc	Married	Professional	White	Male	65	1
32	Private	Some-college	Married	White-Collar	White	Male	50	0
20	Private	Some-college	Single	Service	White	Female	35	0
41	Self-Employed	Some-college	Married	White-Collar	White	Male	50	0

### 5.2.1 Vorbereitungsschritte

In Listing 5.1 wird zunächst der Datensatz geladen und in Trainings- sowie Testdaten aufgeteilt. In diesem Beispiel werden 80% des Datensatzes für das Training verwendet und 20% für die Tests. Die Variablen `x_train` und `x_test` enthalten die Features der Trainings- bzw. Testdaten, während `y_train` und `y_test` die zugehörigen Zielklassen (Einkommen) enthalten. In diesem Beispiel wird kein ML-Modell trainiert, sondern ein vor-trainiertes Modell aus der DiCE-Bibliothek der Autoren verwendet.

```

1  # Lade den Datensatz 'adult'
2  dataset = helpers.load_adult_income_dataset()

4  # Teile den Datensatz in Training und Test auf
5  target = dataset["income"]
6  train_dataset, test_dataset, y_train, y_test = train_test_split(dataset,
7                                                                    target, test_size=0.2, random_state=0, stratify=target)

9  # Entferne die Klassifikation aus den Datensätzen
10 x_train = train_dataset.drop('income', axis=1)
11 x_test = test_dataset.drop('income', axis=1)

```

Listing 5.1: Laden und Aufteilung des Datensatzes in Trainings- und Testdaten.

<sup>1</sup> [https://github.com/interpretml/DiCE/blob/main/docs/source/notebooks/DiCE\\_getting\\_started.ipynb](https://github.com/interpretml/DiCE/blob/main/docs/source/notebooks/DiCE_getting_started.ipynb), Commit 1651751.

<sup>2</sup> <https://archive.ics.uci.edu/dataset/2/adult>

Als nächstes wird in Listing 5.2 das sogenannte Datenobjekt für DiCE konstruiert. Hierzu müssen die kontinuierlichen Features extra deklariert werden, da diese anders behandelt werden als die kategorialen Features. Weiterhin erfolgt die Angabe der Trainingsdaten und der Zielklasse, welche das Modell lernen soll, vorhersagen zu können.

```
1 # Konstruiere das Datenobjekt
2 d = dice_ml.Data(dataframe=train_dataset, continuous_features=['age',
3                                     'hours_per_week'], outcome_name='income')
```

Listing 5.2: Konstruktion des Datenobjekts für DiCE.

Es folgt die Konstruktion des Modellobjekts in Listing 5.3. Zunächst wird das Framework `TensorFlow 2.x` durch die Variable `backend` festgelegt. Diese Variable und der Speicherpfad des zugehörigen vor-trainierten ML-Modells der Autoren werden an ein Modellobjekt übergeben. Das dritte Argument des Modellobjekts bestimmt, welche Daten-Transformer-Funktion für die Datenvorverarbeitung verwendet werden soll. Die Funktion *ohe-min-max* transformiert alle kategorialen Features in binäre Vektoren (One-Hot-Encoding) und skaliert alle Wertebereiche der Features auf 0 bis 1 (Min-Max-Normalisierung).

```
1 # Verwende Tensorflow 2.x
2 backend = 'TF2'

4 # Verwendung eines bereits vor-trainierten ML-Modells der Autoren
5 ML_modelpath = helpers.get_adult_income_modelpath(backend=backend)

7 # Konstruiere das Modellobjekt
8 m = dice_ml.Model(model_path=ML_modelpath, backend=backend,
9                   func="ohe-min-max")
```

Listing 5.3: Konstruktion des Modellobjekts für DiCE.

Als letzter Vorbereitungsschritt erfolgt die Konstruktion des DiCE-Objekts in Listing 5.4, auf dem die Counterfactuals generiert werden können. Hierzu werden das Datenobjekt und das Modellobjekt übergeben. Der Parameter `method` legt fest, welches Vorgehen, hier das Gradientenabstiegsverfahren, zur Optimierung der Verlustfunktion verwendet werden soll.

```
1 # Konstruktion des DiCE-Objekts
2 exp = dice_ml.Dice(d, m, method="gradient")
```

Listing 5.4: Konstruktion des DiCE-Objekts.

### 5.2.2 Generierung von Erklärungen

Die Initialisierungsphase ist abgeschlossen. Die Erklärungen können nun mit dem konstruierten DiCE-Objekt generiert werden, wie in Listing 5.5 dargestellt wurde. Die Generierung erfolgt über die `generate_counterfactuals`-Methode unter Angabe eines Eingabevektors, der Anzahl an gewünschten Counterfactuals sowie, ob die Klassifikation der CFs gleich oder ungleich zur Eingabe sein soll.

```

1 # Generiere Counterfactuals
2 dice_exp = exp.generate_counterfactuals(x_test[1:2], total_CFs=4,
3                                         desired_class="opposite")

5 # Darstellung der Unterschiede zwischen Eingabevektor und Counterfactuals
6 dice_exp.visualize_as_dataframe(show_only_changes=True)

```

Listing 5.5: Generierung von vier Counterfactuals und Visualisierung der Änderungen im Vergleich zum Eingabevektor als Tabelle.

Es wird als Eingabe ein Feature-Vektor aus den Testdaten verwendet, der in Tabelle 5.2 dargestellt ist. Die durch den Vektor repräsentierte Person befindet sich in der niedrigen Einkommensklasse. DiCE soll nun erklären, welche Aktionen die Person durchführen könnte, um in die höhere Einkommensklasse aufzusteigen.

Tabelle 5.2: Der Eingabevektor (Zeile 0) aus dem Testset, für den Counterfactuals generiert werden sollen.

age	workclass	education	marital_status	occupation	race	gender	h/week	income
26	Government	Some-college	Single	Service	Other	Female	10	0

In Tabelle 5.3 sind die vier generierten Erklärungen für die Person aus Tabelle 5.2 aufgelistet. Der Parameter `show_only_changes` der `visualize_as_dataframe`-Methode ermöglicht, dass nur Änderungen im Vergleich zur Eingabe visualisiert werden. Bei näherer Betrachtung der vorgeschlagenen Änderungen fällt auf, dass diese teilweise nicht umsetzbar sind. Das erste Counterfactual erreicht die gewünschte Einkommensklasse, durch Erhöhung des Bildungsabschlusses, der Änderung des Familienstandes sowie eine wöchentliche Arbeitszeit von 90 Stunden. Diese Merkmale sind theoretisch änderbar, doch die dritte Erklärung verlangt neben einer Heirat ein Alter von 88. Die Änderung des Alters hilft einer Person zwar nicht weiter, um in eine höhere Einkommensklasse zu gelangen, jedoch kann diese Information für Entwickler und Forscher zum Aufzeigen von Bias helfen. Das vierte Counterfactual zeigt ein ähnliches Verhalten durch die Änderung des Geschlechts der betroffenen Person.

Tabelle 5.3: Das diverse Set an generierten Counterfactuals. Es werden nur die Features angezeigt, die sich vom Eingabevektor unterscheiden.

age	workclass	education	marital_status	occupation	race	gender	h/week	income
-	-	Masters	Married	-	-	-	90	1
-	-	Doctorate	Married	-	-	-	58	1
88	-	-	Married	-	-	-	-	1
-	-	Bachelors	Married	-	-	Male	72	1

Die Generierung wurde in Listing 5.6 ergänzt die `generate_counterfactuals`-Methode um die Parameter `features_to_vary` und `permitted_range`. Diese Angaben schränken die Counterfactuals ein, um die Machbarkeit zu erhöhen. Hierzu

werden explizit alle Features angegeben, welche in einer Erklärung durch DiCE geändert werden dürfen. Weiterhin ist es möglich Wertebereiche, wie die wöchentliche Arbeitszeit, einzuschränken, sodass die Erklärungen für einen Menschen individuell angepasst werden können, um den maximalen Nutzen aus den Erklärungen zu ziehen. Die neuen Counterfactuals sind in Tabelle 5.4 dargestellt und beinhalten nun praktikablere Vorschläge.

```

1 # Generiere Counterfactuals mit Einschränkungen
2 dice_exp = exp.generate_counterfactuals(x_test[8:9], total_CFs=4,
3     desired_class="opposite", features_to_vary=['workclass',
4     'hours_per_week', 'education', 'occupation', 'marital_status'],
5     permitted_range={'hours_per_week': [10, 50]})

8 # Darstellung der Unterschiede zwischen Eingabevektor und Counterfactuals
9 dice_exp.visualize_as_dataframe(show_only_changes=True)

```

Listing 5.6: Generierung von vier Counterfactuals und Visualisierung der Änderungen im Vergleich zum Eingabevektor als Tabelle.

Tabelle 5.4: Das diverse Set an generierten Counterfactuals. Es werden nur die Features angezeigt, die sich vom Eingabevektor unterscheiden.

age	workclass	education	marital_status	occupation	race	gender	h/week	income
-	-	Doctorate	Married	Professional	-	-	37	1
-	-	Prof-school	Married	-	-	-	37	1
-	-	Prof-school	Married	-	-	-	39	1
-	-	Doctorate	Married	-	-	-	45	1

Es ist bei den Einschränkungen zu beachten, dass zu viele Limitierungen eine Generierung von Erklärungen verhindern kann. Wird der Familienstand in dem obigen Beispiel als unveränderlich betrachtet, so findet DiCE keine Counterfactuals mehr. Dieses Phänomen kann auf einen Bias im Datensatz *adult* hindeuten, da die weibliche Person unter den angebenen Einschränkungen aus Tabelle 5.2 nicht ohne Heirat in die höhere Einkommensklasse aufsteigen kann.

### 5.2.3 Evaluation des Beispiels

Unter Verwendung der Metriken aus Kapitel 4 lassen sich die beschränkten und unbeschränkten Counterfactuals aus den Tabellen 5.3 und 5.4 in Tabelle 5.5 bewerten und vergleichen. Neben der Gültigkeit aller Counterfactuals sind ebenfalls die gleichbleibenden Werte für die kategoriale Proximität und Sparsität hervorzuheben. Die lässt sich darin begründen, dass für die beiden CF-Mengen im Durchschnitt zwei der sechs kategorialen Features geändert wurden. Die gleiche Argumentation gilt für die Sparsität. Auf der anderen Seite zeigt die kontinuierliche Proximität große Unterschiede zwischen den beiden CF-Mengen. Der hohe Wert der unbeschränkten Counterfactuals ist das Resultat aus der starken Erhöhung des Alters und der Wochenarbeitsstunden. Da diese Features bei der zweiten Generierung limitiert wurden, weisen die beschränkten Counterfactuals eine größere

Nähe zu der ursprünglichen Eingabe auf. Aus der gestiegenen Proximität durch die Beschränkungen folgt allerdings eine sinkende Diversität, insbesondere für die kontinuierlichen Features. Dies ist zu erwarten, da die möglichen Variationen der ursprünglichen Eingabe stark eingeschränkt wurden, sodass sich die generierten Counterfactuals sehr ähnlich sind. Die Evaluationsergebnisse der Demonstration zeigen die Grenzen von DiCE und die konkurrierenden Ziele zwischen Diversität und Proximität auf.

Tabelle 5.5: Vergleich der Evaluationsergebnisse für unbeschränkte (Tabelle 5.3) und beschränkte (Tabelle 5.4) Counterfactuals.

<b>Evaluationsmetrik</b>	<b>Unbeschränkte CFs</b>	<b>Beschränkte CFs</b>
Gültigkeit (%ValidCFs)	1,0000	1,0000
Kontinuierliche Proximität	-6,7125	-2,9500
Kategoriale Proximität	0,6667	0,6667
Sparsität	0,6250	0,6250
Kontinuierliche Diversität	6,8417	0,4333
Kategoriale Diversität	0,2500	0,2778
Count Diversität	0,3750	0,3125



## Zusammenfassung und Kritik

In diesem Kapitel wird die Seminararbeit zunächst zusammengefasst und das Verfahren kritisch hinterfragt. Unter anderem werden grundlegende Probleme der Konzepte als auch fehlende Unterstützung der Anwender betrachtet. Zum Abschluss wird die eigene Meinung zum Verfahren auf Basis der zuvor genannten Kritik genannt.

### 6.1 Zusammenfassung

In der Seminararbeit wurde DiCE [MST20] als Erklärungsansatz für Black-Box-Modelle untersucht. Zu Beginn wurde aufgezeigt, dass Entscheidungen von KI-Systemen zunehmend das Leben von Menschen beeinflussen, weshalb die Nachvollziehbarkeit und Fairness der getroffenen Entscheidungen essentiell ist. Aufgrund der Komplexität von Modellen des maschinellen Lernens sind Verfahren notwendig, die es Menschen erlauben zu verstehen wie die lokalen Entscheidungsgrenzen der Modelle verlaufen. Ein Ansatz um dieses Problem zu lösen, ist das Framework DiCE. Dazu werden zu einer unerwünschten Entscheidung Gegenbeispiele, die sogenannten kontrafaktische Erklärungen, generiert. Diese Erklärungen sollen helfen, einem Anwender aufzuzeigen, was hätte anders sein müssen, um eine gewünschte Entscheidung zu erhalten.

Hierzu wurden in Kapitel 2 einige grundlegende Begrifflichkeiten eingeführt, die zum Verständnis der Methodik notwendig sind. Im Anschluss wurde das konkrete Vorgehen erläutert, wobei der Fokus auf den zentralen Konzepten: Proximität, Diversität und Sparsität lag. Proximität beschreibt die Nähe der generierten Erklärungen zu der ursprünglichen Eingabe. Nur wenn sie ähnlich sind, helfen sie dem Anwender bei der Nachvollziehbarkeit. Diversität zwischen den Counterfactuals erhöht die Machbarkeit für den Anwender, indem möglichst unterschiedliche Alternativen aufgezeigt werden. Diese beiden Konzepte werden in der Verlustfunktion kombiniert, auf deren Basis die Erklärungen generiert werden. Sparsität erhöht die Machbarkeit in einem Nachbearbeitungsschritt noch weiter, indem die Anzahl der veränderten Features zwischen ursprünglicher Eingabe und Counterfactual minimiert wird.

Um die Ergebnisse bewerten zu können, wurden Metriken zu den Konzepten eingeführt. Als Vergleichsmethoden wurden vier Baselines und LIME [RSG16] ver-

wendet und DiCE gegenüber gestellt. Es zeigte sich, dass DiCE in den verwendeten Datensätzen bessere Resultate als LIME und ähnliche Werte wie die Baselines erzielte. Bei der Proximität hingegen schneiden die Baselines teilweise besser ab als DiCE, da dieses durch die Diversität eine geringere Proximität erzielt wird.

Zum Abschluss wurde DiCE an einem konkreten Beispiel demonstriert, welches von den Autoren zur Verfügung gestellt wird. Es wurde detailliert erläutert, wie die theoretischen Konzepte programmatisch umgesetzt wurden und wie DiCE in der Praxis angewendet werden kann. Weiterhin wurde auf die Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis eingegangen und wie das Verfahren Anwendern im Alltag unterstützen kann.

## 6.2 Kritische Betrachtung

Der Erklärungsansatz von DiCE, durch Gegenbeispiele einem Anwender die Entscheidung nachvollziehen zu lassen, ist sehr einfach zu verstehen und daher praktisch breit anwendbar. Die Methodik weist jedoch einige Probleme auf.

Die Machbarkeit wird durch die Diversität und Sparsität verbessert, jedoch wird ein wichtiger Schritt an den Anwender abgegeben. DiCE macht keine direkten Einschränkungen, welche Features der Eingabe änderbar sein sollen [MST20]. Das Verfahren behandelt zum Beispiel die Änderung der ethnischen Zugehörigkeit, die Verringerung des Alters als auch die Änderung des Wohnorts als gleichwertig. Das bedeutet, dass die Einschränkung der änderbaren Features und die Festlegung von Intervallen in denen die Werte verändert werden dürfen, durch den Anwender jedes mal selbst festgelegt werden muss. Dies ist zeitintensiv und erfordert unter Umständen tiefes Verständnis der betrachteten Domäne und des Individuums. Beispielsweise wird ein Kredit aufgrund des Wohnorts abgelehnt. Ein Umzug ist aus familiären oder finanziellen Gründen für die eine Person nicht möglich, aber für die nächste Person unbedenklich und der einfachste Weg, damit das Modell den Kredit gewährt.

Ein zweites Problem ist die Verlustfunktion selbst. Aufgrund der konkurrierenden Zielen von Proximität und Diversität, werden diese beiden Konzepte in der Verlustfunktion durch die beiden  $\lambda$ -Parameter gewichtet [MST20]. Sollen die Erklärungen näher an der ursprünglichen Eingabe liegen, um die Relevanz für den Anwender zu erhöhen, wird automatisch die Distanz zwischen den Erklärungen verringert, sodass die Counterfactuals sich weniger unterscheiden. Dies reduziert aber die Wahrscheinlichkeit, dass der Anwender eine machbare Alternative findet.

Als letztes Problem ist die Anzahl der Counterfactuals zu betrachten. DiCE bietet die Möglichkeit viele Erklärungen zu generieren. Hierbei stellt sich die Frage, wie viele Beispiele ein Anwender überhaupt überblicken und verarbeiten kann. Unter Betrachtung des vorherigen Kreditbeispiels sind vermutlich 1000 Änderungsmöglichkeiten zum Erhalt des Kredits für einen Anwender überfordernd. Dieser Punkt der kognitiven Überlastung durch eine zu große Menge an Informationen wurde durch die Autoren nicht näher betrachtet [MST20]. Die Aufgabe der optimalen Anzahl wird erneut dem Anwender selbst überlassen.

Meiner Meinung nach stellt DiCE einen guten Ansatz dar, um komplexe Modelle für einen Anwender verständlich und nachvollziehbar zu machen. Die Verwendung von Beispielen als Erklärung ist intuitiv und leicht verständlich, auch ohne technisches Verständnis und lässt einen Einblick in die Entscheidungsgrenzen des Modells zu. Weiterhin ist der Anwender nicht auf eine einzelne Erklärung beschränkt, sondern kann sich die beste Variante herausuchen. Verbesserungswürdig ist die umfangreiche Vorarbeit durch den Anwender die notwendig ist, um die sinnvolle Erklärungen zu erhalten. Dies reduziert die Anwendung in der Praxis, insbesondere für den unkomplizierten Einsatz durch einen Laien. Eine Unterstützung durch Sortierung der Erklärungen nach Machbarkeit wäre wünschenswert, um die Verwendbarkeit von DiCE zu erhöhen. Wie die Autoren selbst angemerkt haben ist auch die Aussagekraft der Paper-Ergebnisse limitiert, da keine Verhaltensstudie zur Bewertung der Entscheidungsgrenze mit Menschen durchgeführt wurde.

---

## Literaturverzeichnis

- BATGL<sup>+</sup>19. BARREDO ARRIETA, ALEJANDRO, SIHAM TABIK, SALVADOR GARCÍA LÓPEZ, DANIEL MOLINA CABRERA, FRANCISCO HERRERA TRIGUERO, NATALIA ANA DÍAZ RODRÍGUEZ et al.: *Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI*. 2019.
- KT<sup>+</sup>12. KULESZA, ALEX, BEN TASKAR et al.: *Determinantal point processes for machine learning*. Foundations and Trends® in Machine Learning, 5(2–3):123–286, 2012.
- LG19. LOYOLA-GONZÁLEZ, OCTAVIO: *Black-Box vs. White-Box: Understanding Their Advantages and Weaknesses From a Practical Point of View*. IEEE Access, 7:154096–154113, 2019.
- MST20. MOTHILAL, RAMARAVIND K, AMIT SHARMA und CHENHAO TAN: *Explaining machine learning classifiers through diverse counterfactual explanations*. In: *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, Seiten 607–617, 2020.
- RSG16. RIBEIRO, MARCO TULIO, SAMEER SINGH und CARLOS GUESTRIN: *"Why Should I Trust You?"*. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Seiten 1135–1144, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- Rus19. RUSSELL, CHRIS: *Efficient Search for Diverse Coherent Explanations*. In: *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, Seiten 20–28, New York, NY, USA, 2019. ACM.
- WMR17. WACHTER, SANDRA, BRENT MITTELSTADT und CHRIS RUSSELL: *Counterfactual Explanations Without Opening the Black Box: Automated Decisions and the GDPR*. SSRN Electronic Journal, 2017.

## Eigenständigkeitserklärung

- ☐ Die vorliegende Arbeit wurde als Einzelarbeit angefertigt.
- ☐ Die vorliegende Arbeit wurde als Gruppenarbeit angefertigt. Mein Anteil an der Gruppenarbeit ist im untenstehenden Abschnitt *Verantwortliche* dokumentiert:
- ☐ Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter angefertigt habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche kenntlich gemacht. Darüber hinaus erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit in dieser oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht habe.
- ☐ Es ist keine Nutzung von KI-basierten text- oder inhaltgenerierenden Hilfsmitteln erfolgt.
- ☐ Die Nutzung von KI-basierten text- oder inhaltgenerierenden Hilfsmitteln wurde von der/dem Prüfenden ausdrücklich gestattet. Die von der/dem Prüfenden mit Ausgabe der Arbeit vorgegebenen Anforderungen zur Dokumentation und Kennzeichnung habe ich erhalten und eingehalten. Sofern gefordert, habe ich in der untenstehenden Tabelle *Nutzung von KI-Tools* die verwendeten KI-basierten text- oder inhaltgenerierenden Hilfsmittel aufgeführt und die Stellen in der Arbeit genannt. Die Richtigkeit übernommener KI-Aussagen und Inhalte habe ich nach bestem Wissen und Gewissen überprüft.

---

Datum

---

Unterschrift der Kandidatin/des Kandidaten

## Nutzung von KI-Tools

KI-Tool	Genutzt für	Warum?	Wann?	Mit welcher Eingabefrage bzw. -aufforderung?	An welcher Stelle der Arbeit übernommen?
ChatGPT, DeepSeek, Gemini	Korrektur bzgl. Rechtschreibung, Grammatik und Formulierungen	Verbesserung der Textqualität	Während der gesamten Arbeit	Textabschnitte mit der Aufforderung zur Kontrolle	Über die gesamte Arbeit hinweg
Gemini	Erstellung der Abbildungen 2.1 und 2.2	Schnelle und einfache Modifikation durch Latex-Code	Für die Abbildungen 2.1 und 2.2	Erstelle ein Bild in Latex mit dem Inhalt: input [200€, Männlich, Arbeitslos] -> Black-Box -> "Kein Kreditäls Beispiel zur Erläuterung der Datenverarbeitung eines Black-Box-Modells.	Abbildungen 2.1 und 2.2
Gemini	Anfertigung des Skripts für die Evaluationsmetriken und deren Berechnung für das demonstrierte Beispiel	Autoren haben keine eigene Evaluation bereitgestellt, daher wurde diese mit Hilfe von Gemini angefertigt, für eine bessere Diskussion der Ergebnisse.	Zur Berechnung der Werte in Tabelle 5.5	Als Eingabe wurden die Metriken und die CF-Mengen der Demonstration verwendet.	Tabelle 5.5