Mehrfaktorielle Varianzanalyse ohne Messwiederholung

(ANOVA Multi Factor with Replication)

Ein Blick in den Datensatz

	model	year	price	transmission	mileage	fuelType
1	Fiesta	2017	12000	Automatic	15944	Petrol
2	Focus	2018	14000	Manual	9083	Petrol
3	Focus	2017	13000	Manual	12456	Petrol
4	Fiesta	2019	17500	Manual	10460	Petrol
5	Fiesta	2019	16500	Automatic	1482	Petrol
6	Fiesta	2015	10500	Manual	35432	Petrol

Aufgabenstellung

1) Hypothese
2) Voraussetzungen für die einfaktoriellen Varianzanalyse ohne Messwiederholung
3) Grundlegende Konzepte: Was ist die einfaktoriellen Varianzanalyse ohne Messwiederholung
4) Deskriptive Statistiken
5) Prüfung der Varianzhomogenität (Levene-Test)
6) Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse ohne Messwiederholung
7) Post-hoc-Tests
8) Profildiagramm
9) Berechnung der Effektstärke
10) Eine Aussage

Hypothese

- ***Haupteffekt A***

- H_0:Es gibt KEINEN Unterschied zwischen den Getriebevarianten und dem Preis.
- H_1:Es gibt EINEN Unterschied zwischen den Getriebevarianten und dem Preis.

Hypothese

- ***Haupteffekt B***

- H_0:Es gibt KEINEN Unterschied zwischen den Treibstoffvarianten und dem Preis.
- H_1:Es gibt EINEN Unterschied zwischen den Treibstoffvarianten und dem Preis.

Hypothese

- ***Haupteffekt AxB***

- H_0: Es gibt KEINEN Unterschied zwischen den Getriebevarianten, bzw. den Treibstoffvarianten und dem Preis.
- H_1: Es gibt EINEN Unterschied zwischen den Getriebevarianten, bzw. den Treibstoffvarianten und dem Preis.

Voraussetzungen

- Die abhängige Variable ist mindestens intervallskaliert -> Preis ist gegeben, sogar Ratioskaliert.

Voraussetzungen

- Die unabhängigen Variablen (Getriebe und Treibstoff) sind kategorial (nominal- oder ordinalskaliert) -> sind sie. Die durch die Faktoren gebildeten Gruppen sind unabhängig -> Entweder hat das Auto automatische / manuelle / semiautomatische Getriebe, bzw. der Treibstoff ist entweder Petrol / Diesel.

Voraussetzungen

- Die abhängige Variablen ist normalverteilt innerhalb jeder der Gruppen. Ab 25 Probanden pro Gruppe sind Verletzungen dieser Voraussetzung unproblematisch-> siehe Histogramm

Voraussetzungen

- Homogenität der Varianzen: Die Gruppen stammen aus Grundgesamtheiten mit annähernd identischen Varianzen der abhängigen Variablen -> siehe Levene-Test

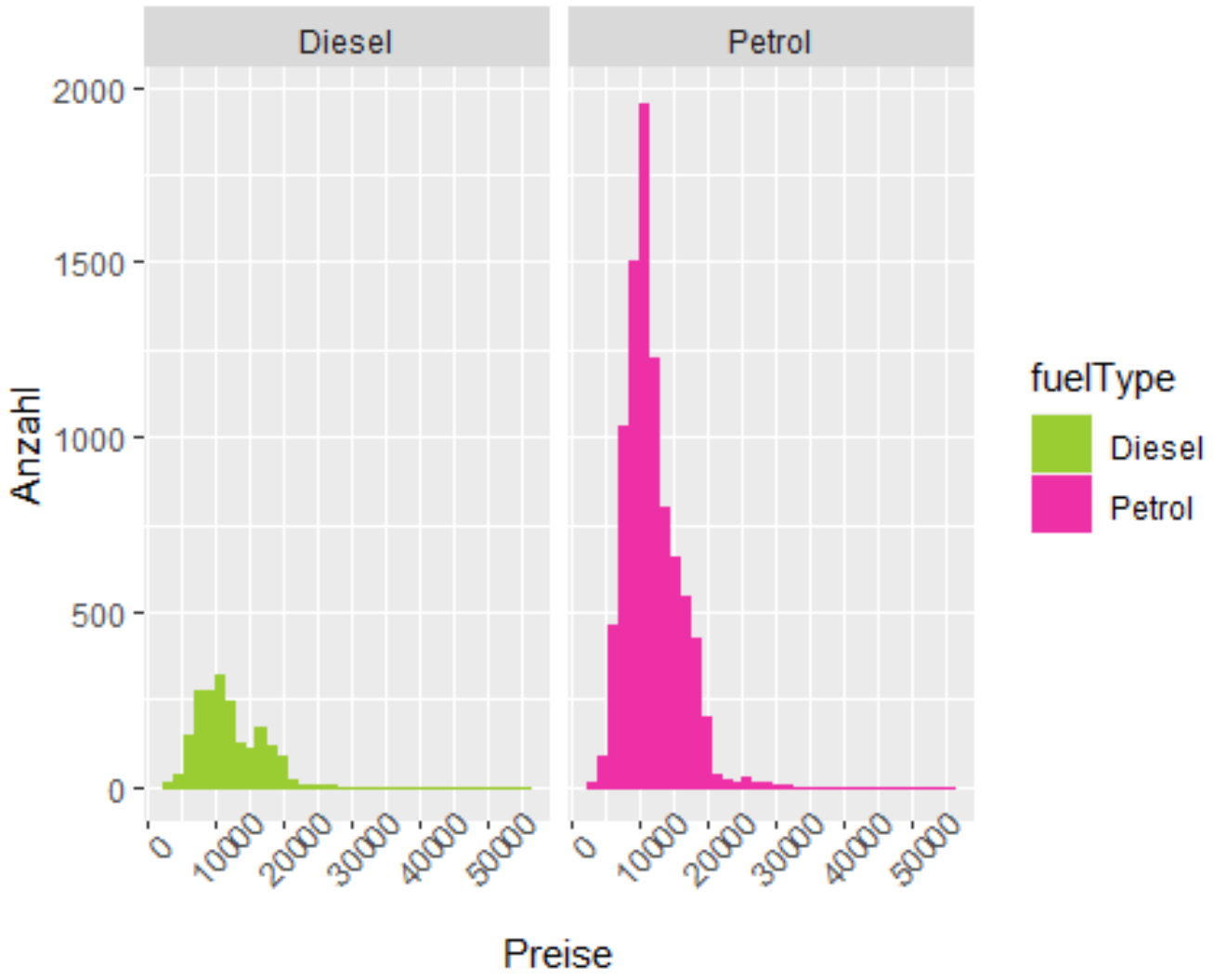
Was ist ANOVA?

- Die mehrfaktorielle Varianzanalyse untersucht, ob sich die Mittelwerte mehrerer unabhängiger Gruppenunterscheiden, die durch mehrere kategoriale unabhängige Variable definiert werden.

Deskriptive Statistiken + Prüfung der Voraussetzung

Deskr. St. + Prüf.

***Histogramm zur Prüfung der Normalvertweilung* Treibstoff**

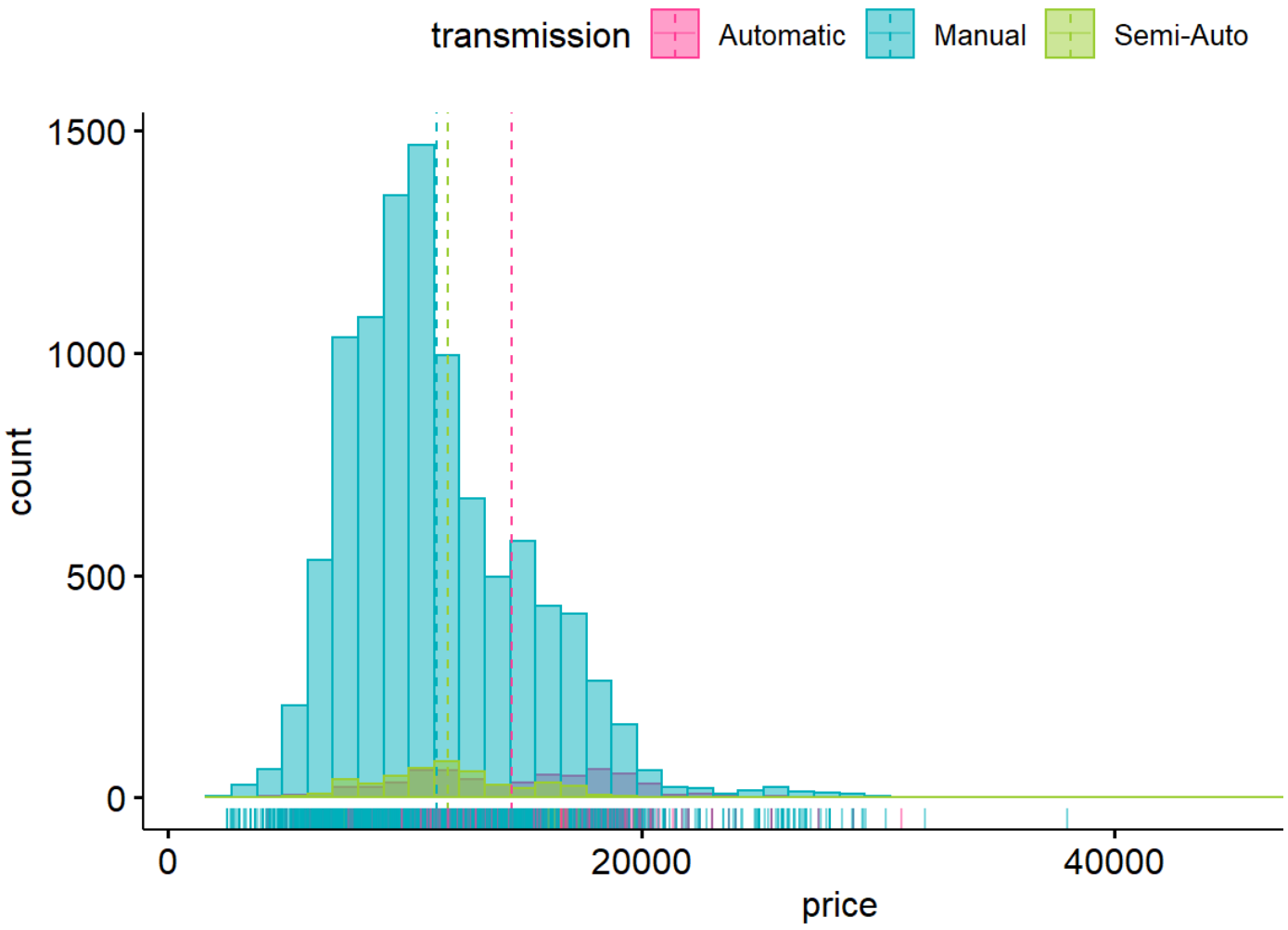


Die Daten sind normalverteilt innerhalb der Gruppe Treibstoff in Bezug auf die Preise

Deskr. St. + Prüf.

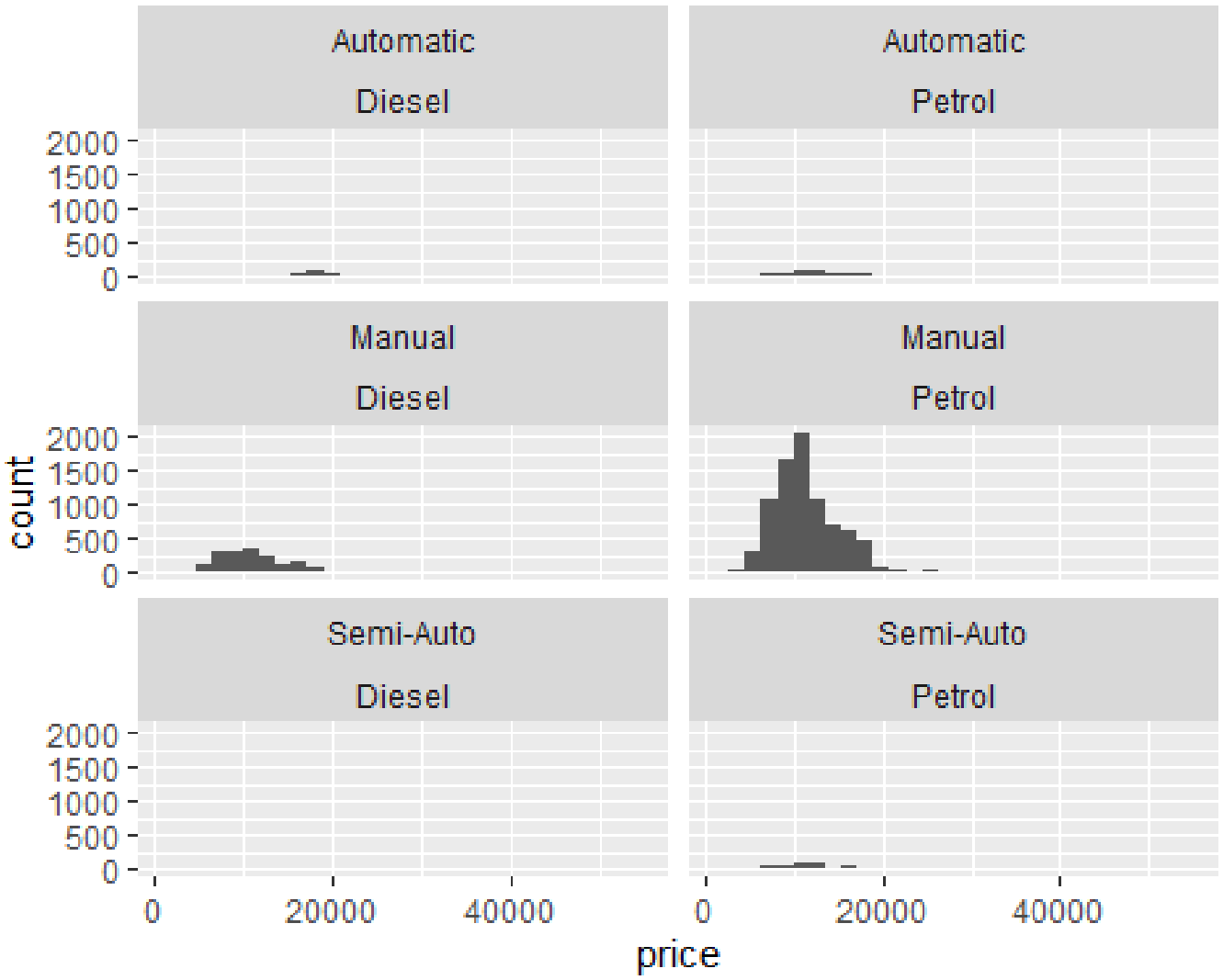
Histogramm zur Prüfung der Normalvertweilung Getriebe

Die Daten sind normalverteilt innerhalb der Gruppe Getriebe in Bezug auf die Preise



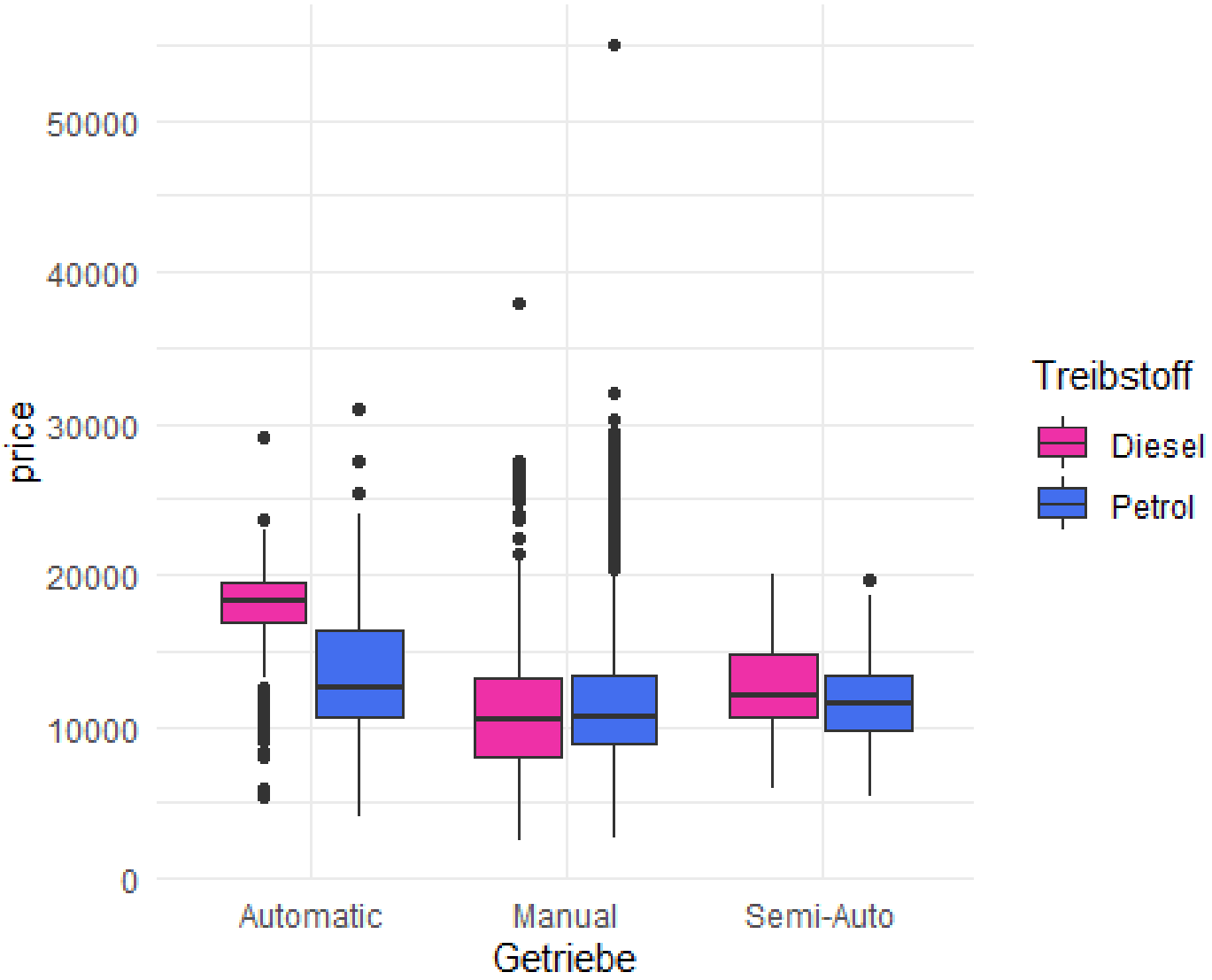
Deskr. St. + Prüf.

Histogramm zur Prüfung der Normalvertweilung Getriebe&Treibstoff



Deskr. St. + Prüf.

Boxplot zur Prüfung



Bei Manuell tauchen viele Ausreißer auf, da die jeweiligen n hier am größten sind. Mehr Daten bedeutet mehr Ausreißer.

Deskr. St. + Prüf.

Deskriptive Statistik (Treibstoff)

A tibble: 2 x 5

fuelType <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>	Standardabweichung <dbl>
Diesel	1975	11621.83	10750	4310.33
Petrol	9032	11512.95	10865	3720.79

2 rows

Beim Diesel Treibstoff ist der Mittelwert 11621.83 (SD = 4310.33, n = 1975). Beim Benzin Treibstoff ist der Mittelwert 11512.95 (SD = 3720.79, n = 9032). der sehr geringe Unterschied lässt vermuten, dass keine Signifikanz vorliegt.

Deskr. St. + Prüf.

Deskriptive Statistik (Getriebe)

A tibble: 3 x 5

transmission <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>
Automatic	586	14511.60	14704.5
Manual	9974	11344.09	10680.0
Semi-Auto	447	11830.83	11555.0

3 rows | 1-4 of 5 columns

Automatic hat 14511.60 als Mittelwert von Preis. Manual hat 11344.09 als Mittelwert von Preis. Semi-Auto hat 11830.83 als Mittelwert von Preis. Es sind größere Unterschiede zu sehen als beim Treibstoff, was eher eine Signifikanz vermuten lässt. Die folgende Analyse wird das näher erläutern.

Deskr. St. + Prüf.

Deskriptive Statistik (Getriebe&Treibstoff)

Bei den **Automatic Diesel (M = 17633.69, SD = 3339.23)** Autos ist der Mittelwert vom Preis am höchsten. **Automatic Benzin (M = 13235.74, SD = 3994.54)** hat den zweithöchsten, gefolgt von **Semi-Auto Diesel (M = 12755.83)**.

A tibble: 6 x 6 | Groups: transmission [3]

transmission <chr>	fuelType <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>
Automatic	Diesel	170	17633.69	18274.0
Automatic	Petrol	416	13235.74	12500.0
Manual	Diesel	1763	11015.11	10391.0
Manual	Petrol	8211	11414.72	10700.0
Semi-Auto	Diesel	42	12755.83	11996.5
Semi-Auto	Petrol	405	11734.91	11500.0

6 rows | 1-5 of 6 columns

Die letzten drei sind in der Reihenfolge Semi-Auto Benzin(M = 11734.91, SD = 2881.74), Manuell Benzin (M = 11414.72, SD = 3721.70) und Manuell Diesel (M = 11015.11, SD = 3950.84)

Deskr. St. + Prüf.

Deskriptive Statistik (Alternative: mean, standart deviation, sum)

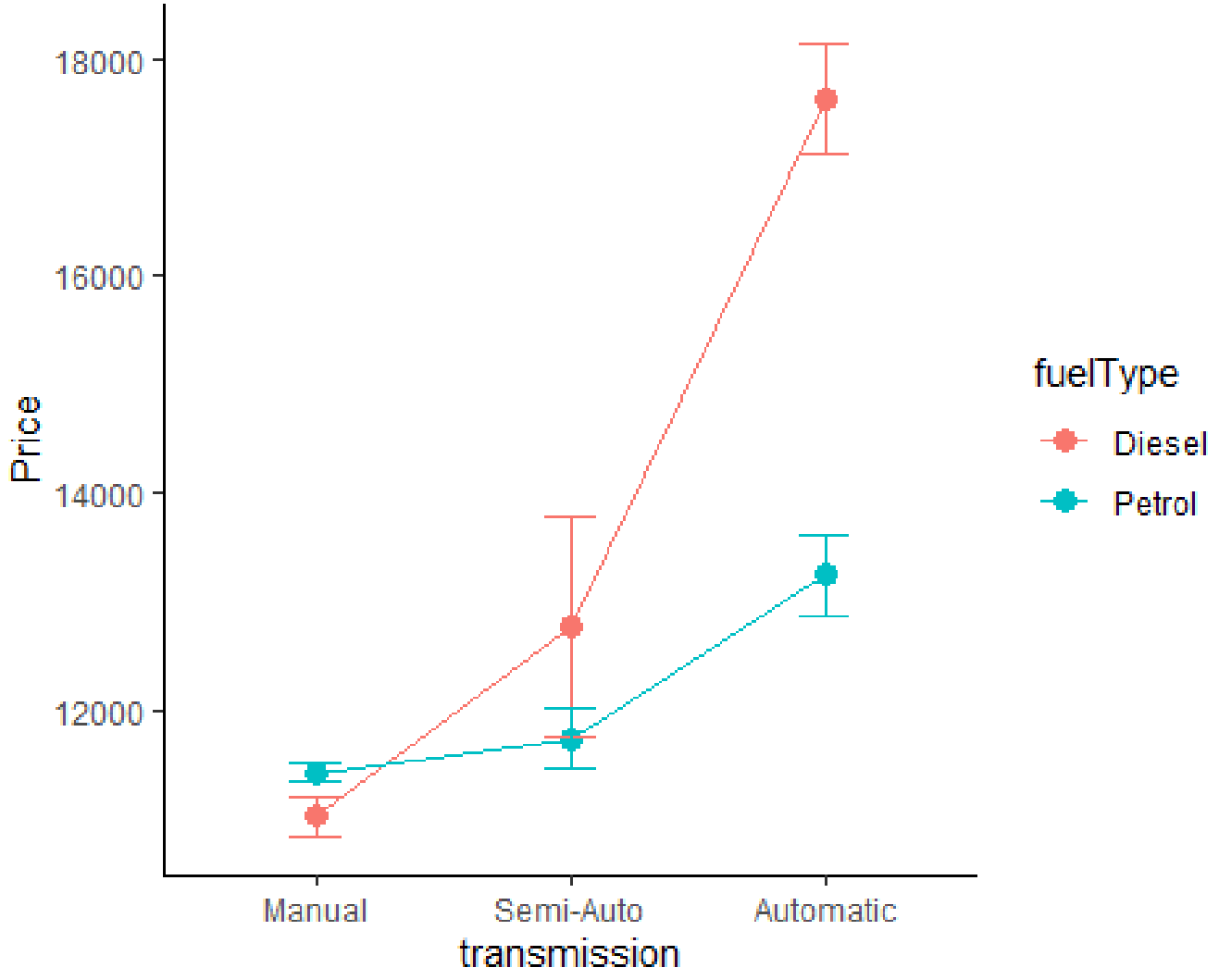
	Automatic	Manual	Semi-Auto
Diesel	17633.69	11015.11	12755.83
Petrol	13235.74	11414.72	11734.91

	Automatic	Manual	Semi-Auto
Diesel	3339.231	3950.843	3275.499
Petrol	3994.540	3721.701	2881.742

	Automatic	Manual	Semi-Auto
Diesel	170	1763	42
Petrol	416	8211	405

Deskr. St. + Prüf.

Deskriptive Statistik (Profildiagramm)



Varianzhomogenität

Levene Test

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = "mean")
        Df F value    Pr(>F)
group    5  12.516 3.854e-12 ***
      11001
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Im vorliegenden Beispiel ist der **Levene-Test signifikant ($F(5,11001) = 12.516$, $p < .000$)**, sodass von Varianzheterogenität ausgegangen werden kann. Da die Varianzen nicht gleich sind, ist es zu empfehlen eine Korrektur mithilfe des Welch-Tests durchzuführen.

Ergebnisse

Keine Welch-Korrektur

```
Anova Table (Type III tests)

Response: price
                        Sum Sq    Df   F value    Pr(>F)
(Intercept)           2.1391e+11     1 15328.251 < 2.2e-16 ***
transmission          6.8472e+09     2   245.327 < 2.2e-16 ***
fuelType              2.3176e+08     1    16.608 4.629e-05 ***
transmission:fuelType 2.6056e+09     2    93.355 < 2.2e-16 ***
Residuals             1.5352e+11 11001
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

Ergebnisse

Mit Welch-Korrektur

Es liegt eine Verletzung der Varianzhomogenität vor(siehe Levene-Test).

Daher sollte ein robusterer Test berücksichtigt werden (* mit welch*).

Allerdings bieten sich hier keine weitgehend akzeptierten Verfahren an. Daher wird der Standard weitergeführt.

Ergebnisse

One way analysis

```
        One-way analysis of means (not assuming equal
variances)

data:  price and transmission
F = 154.66, num df = 2.0, denom df = 755.1, p-value < 2.2e-16
```

Für den Faktor transmission wird EIN Haupteffekt ersichtlich. Der Preis scheint demnach abhängig vom Getriebe zu sein ($F(2,755.1) = 154.66$, $p < .000$).

Ergebnisse

One way analysis

```
        One-way analysis of means (not assuming equal
variances)

data:  price and fuelType
F = 1.0836, num df = 1.0, denom df = 2654.3, p-value = 0.298
```

Für den Faktor Treibstoff wird KEIN Haupteffekt ersichtlich. Der Preis scheint demnach unabhängig vom Treibstoff zu sein ($F(1,2654.3) = 1.0836$, $p = .298$).

Ergebnisse

One way analysis

```
        One-way analysis of means (not assuming equal
variances)

data:  price and fuelType * transmission
F = 136.67, num df = 5.00, denom df = 336.12, p-value < 2.2e-
16
```

Der Interaktionsterm von Treibstoff und Getriebe auf den Preis ist signifikant (F(5,336.12) = 136.67, p = .000). Der Effekt von der Getriebe hängt demnach zu einem gewissen Teil vom Treibstoff ab.

Post-Hoc-Test

Ist ein Haupteffekt oder eine Interaktion signifikant, so ist zwar bestätigt, dass ein Effekt vorliegt, doch ist nach wie vor unklar, welche Faktorstufen sich unterscheiden, sobald ein Faktor mehr als zwei Ausprägungen aufweist.

(Bei zwei Ausprägungen unterscheiden sich eben diese zwei Ausprägungen voneinander, sonst wäre der F-Test nicht signifikant.)

Im vorliegenden Beispiel liegen ein Effekt der Getriebe sowie ein Interaktionseffekt vor. Post-hoc-Tests können einfach eingesetzt werden, um zu prüfen, welche Levels der Getriebe sich unterscheiden.

Post-Hoc-Test

Wie vermutet, zeichnet sich bei Treibstoff KEINE Signifikanz ab. Die Getriebekombinationen unterscheiden sich signifikant.

Für das vorliegende Beispiel wird ersichtlich, dass sich der fuelType und das transmission bezüglich der Preis signifikant unterscheiden ($p < .05$).

```
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = price ~ transmission * fuelType, data = ford)

$transmission
                         diff        lwr       upr     p adj
Semi-Auto-Manual     486.7479   63.40129  910.0946 0.0193049
Automatic-Manual    3167.5090 2795.30736 3539.7107 0.0000000
Automatic-Semi-Auto 2680.7611 2130.86905 3230.6532 0.0000000

$fuelType
                 diff       lwr      upr    p adj
Petrol-Diesel 6.40114 -175.4951 188.2974 0.945006

$`transmission:fuelType`
                                          diff         lwr        upr      p adj
Semi-Auto:Diesel-Manual:Diesel     1740.7199    78.32838  3403.1114  0.0338695
Automatic:Diesel-Manual:Diesel     6618.5748  5763.48677  7473.6628  0.0000000
Manual:Petrol-Manual:Diesel         399.6075   120.12415   679.0909  0.0006589
Semi-Auto:Petrol-Manual:Diesel      719.7952   133.08791  1306.5025  0.0062914
Automatic:Petrol-Manual:Diesel     2220.6269  1640.26182  2800.9921  0.0000000
Automatic:Diesel-Semi-Auto:Diesel  4877.8549  3043.15797  6712.5518  0.0000000
Manual:Petrol-Semi-Auto:Diesel    -1341.1123 -2988.24570   306.0210  0.1856985
Semi-Auto:Petrol-Semi-Auto:Diesel -1020.9247 -2746.94982   705.1004  0.5411891
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Diesel   479.9071 -1243.97258  2203.7867  0.9687149
Manual:Petrol-Automatic:Diesel    -6218.9673 -7043.99954 -5393.9350  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Automatic:Diesel -5898.7796 -6871.81235 -4925.7468  0.0000000
Automatic:Petrol-Automatic:Diesel -4397.9479 -5367.16969 -3428.7260  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Manual:Petrol      320.1877  -221.77931   862.1546  0.5425235
Automatic:Petrol-Manual:Petrol     1821.0194  1285.92462  2356.1142  0.0000000
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Petrol  1500.8317   757.56806  2244.0954  0.0000001
```

Post-Hoc-Test

Was ist sig und was nicht? 11 von 15 Vergleichen sind sig. ($p < .05$). Nicht sig. sind

Semi-Auto:Petrol-Manual:Petrol ($p = 0.5425235$)

Semi-Auto:Petrol-Semi-Auto:Diesel ($p = 0.5411891$)

Automatic:Petrol-Semi-Auto:Diesel ($p = 0.9687149$)

Manual:Petrol-Semi-Auto:Diesel ($p = 0.1856985$)

```
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = price ~ transmission * fuelType, data = ford)

$transmission
                         diff        lwr       upr     p adj
Semi-Auto-Manual     486.7479   63.40129  910.0946 0.0193049
Automatic-Manual    3167.5090 2795.30736 3539.7107 0.0000000
Automatic-Semi-Auto 2680.7611 2130.86905 3230.6532 0.0000000

$fuelType
                 diff       lwr      upr    p adj
Petrol-Diesel 6.40114 -175.4951 188.2974 0.945006

$`transmission:fuelType`
                                          diff         lwr        upr      p adj
Semi-Auto:Diesel-Manual:Diesel     1740.7199    78.32838  3403.1114  0.0338695
Automatic:Diesel-Manual:Diesel     6618.5748  5763.48677  7473.6628  0.0000000
Manual:Petrol-Manual:Diesel         399.6075   120.12415   679.0909  0.0006589
Semi-Auto:Petrol-Manual:Diesel      719.7952   133.08791  1306.5025  0.0062914
Automatic:Petrol-Manual:Diesel     2220.6269  1640.26182  2800.9921  0.0000000
Automatic:Diesel-Semi-Auto:Diesel  4877.8549  3043.15797  6712.5518  0.0000000
Manual:Petrol-Semi-Auto:Diesel    -1341.1123 -2988.24570   306.0210  0.1856985
Semi-Auto:Petrol-Semi-Auto:Diesel -1020.9247 -2746.94982   705.1004  0.5411891
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Diesel   479.9071 -1243.97258  2203.7867  0.9687149
Manual:Petrol-Automatic:Diesel    -6218.9673 -7043.99954 -5393.9350  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Automatic:Diesel -5898.7796 -6871.81235 -4925.7468  0.0000000
Automatic:Petrol-Automatic:Diesel -4397.9479 -5367.16969 -3428.7260  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Manual:Petrol      320.1877  -221.77931   862.1546  0.5425235
Automatic:Petrol-Manual:Petrol     1821.0194  1285.92462  2356.1142  0.0000000
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Petrol  1500.8317   757.56806  2244.0954  0.0000001
```

Post-Hoc-Test

Generalisierbarkeit /Unabhängigkeit - global?

Beide Haupteffekte sind global.

Mit steigendem Automatisierungsgrad des Getriebes steigt der Preis für beide Varianten von Treibstoff.

Manual Diesel, Auto Diesel sind unabhaengig / generalisierbar.

```
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = price ~ transmission * fuelType, data = ford)

$transmission
                         diff        lwr       upr     p adj
Semi-Auto-Manual     486.7479   63.40129  910.0946 0.0193049
Automatic-Manual    3167.5090 2795.30736 3539.7107 0.0000000
Automatic-Semi-Auto 2680.7611 2130.86905 3230.6532 0.0000000

$fuelType
                 diff       lwr      upr    p adj
Petrol-Diesel 6.40114 -175.4951 188.2974 0.945006

$`transmission:fuelType`
                                        diff         lwr        upr      p adj
Semi-Auto:Diesel-Manual:Diesel     1740.7199    78.32838  3403.1114  0.0338695
Automatic:Diesel-Manual:Diesel     6618.5748  5763.48677  7473.6628  0.0000000
Manual:Petrol-Manual:Diesel         399.6075   120.12415   679.0909  0.0006589
Semi-Auto:Petrol-Manual:Diesel      719.7952   133.08791  1306.5025  0.0062914
Automatic:Petrol-Manual:Diesel     2220.6269  1640.26182  2800.9921  0.0000000
Automatic:Diesel-Semi-Auto:Diesel  4877.8549  3043.15797  6712.5518  0.0000000
Manual:Petrol-Semi-Auto:Diesel    -1341.1123 -2988.24570   306.0210  0.1856985
Semi-Auto:Petrol-Semi-Auto:Diesel -1020.9247 -2746.94982   705.1004  0.5411891
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Diesel   479.9071 -1243.97258  2203.7867  0.9687149
Manual:Petrol-Automatic:Diesel    -6218.9673 -7043.99954 -5393.9350  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Automatic:Diesel -5898.7796 -6871.81235 -4925.7468  0.0000000
Automatic:Petrol-Automatic:Diesel -4397.9479 -5367.16969 -3428.7260  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Manual:Petrol      320.1877  -221.77931   862.1546  0.5425235
Automatic:Petrol-Manual:Petrol     1821.0194  1285.92462  2356.1142  0.0000000
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Petrol  1500.8317   757.56806  2244.0954  0.0000001
```

Post-Hoc-Test

Gruppenbildung?

Eine Regruppierung wird nicht empfohlen und die sechs Gruppen sollten beibehalten werden.

Durch die breite Streuung von Semi-Auto:Diesel übergreift diese Faktorkombination drei - andernfalls unabhängige - Kombinationen.

```
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = price ~ transmission * fuelType, data = ford)

$transmission
                          diff        lwr       upr     p adj
Semi-Auto-Manual     486.7479   63.40129  910.0946 0.0193049
Automatic-Manual    3167.5090 2795.30736 3539.7107 0.0000000
Automatic-Semi-Auto 2680.7611 2130.86905 3230.6532 0.0000000

$fuelType
                 diff       lwr      upr    p adj
Petrol-Diesel 6.40114 -175.4951 188.2974 0.945006

$`transmission:fuelType`
                                          diff         lwr        upr      p adj
Semi-Auto:Diesel-Manual:Diesel     1740.7199    78.32838  3403.1114  0.0338695
Automatic:Diesel-Manual:Diesel     6618.5748  5763.48677  7473.6628  0.0000000
Manual:Petrol-Manual:Diesel         399.6075   120.12415   679.0909  0.0006589
Semi-Auto:Petrol-Manual:Diesel      719.7952   133.08791  1306.5025  0.0062914
Automatic:Petrol-Manual:Diesel     2220.6269  1640.26182  2800.9921  0.0000000
Automatic:Diesel-Semi-Auto:Diesel  4877.8549  3043.15797  6712.5518  0.0000000
Manual:Petrol-Semi-Auto:Diesel    -1341.1123 -2988.24570   306.0210  0.1856985
Semi-Auto:Petrol-Semi-Auto:Diesel -1020.9247 -2746.94982   705.1004  0.5411891
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Diesel   479.9071 -1243.97258  2203.7867  0.9687149
Manual:Petrol-Automatic:Diesel    -6218.9673 -7043.99954 -5393.9350  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Automatic:Diesel -5898.7796 -6871.81235 -4925.7468  0.0000000
Automatic:Petrol-Automatic:Diesel -4397.9479 -5367.16969 -3428.7260  0.0000000
Semi-Auto:Petrol-Manual:Petrol      320.1877  -221.77931   862.1546  0.5425235
Automatic:Petrol-Manual:Petrol     1821.0194  1285.92462  2356.1142  0.0000000
Automatic:Petrol-Semi-Auto:Petrol  1500.8317   757.56806  2244.0954  0.0000001
```

Post-Hoc-Test

transmission <fctr>	fuelType <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>	Standardabweichung <dbl>
Manual	Diesel	1763	11015.11	10391.0	3950.84
Manual	Petrol	8211	11414.72	10700.0	3721.70
Semi-Auto	Diesel	42	12755.83	11996.5	3275.50
Semi-Auto	Petrol	405	11734.91	11500.0	2881.74
Automatic	Diesel	170	17633.69	18274.0	3339.23
Automatic	Petrol	416	13235.74	12500.0	3994.54

6 rows

Interaktion?

Für Manuelle Fahrzeuge ist Benzin (M = 11414,72, SD = 3721,7, n = 8211) die teurere Alternative im Vergleich zu Diesel (M = 11015,11, SD = 3950,84, n = 1763). Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ausgefallen im Post-Hoc-Test.

Post-Hoc-Test

transmission <fctr>	fuelType <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>	Standardabweichung <dbl>
Manual	Diesel	1763	11015.11	10391.0	3950.84
Manual	Petrol	8211	11414.72	10700.0	3721.70
Semi-Auto	Diesel	42	12755.83	11996.5	3275.50
Semi-Auto	Petrol	405	11734.91	11500.0	2881.74
Automatic	Diesel	170	17633.69	18274.0	3339.23
Automatic	Petrol	416	13235.74	12500.0	3994.54

6 rows

Interaktion?

Für Semiautomatische Getriebe sind die Diesel (M = 12755,83, SD = 3275,5, n = 42) teurer als Benziner (M = 11734,91, SD = 2881,74, n = 405). Auch dieser Unterschied ist nicht signifikantausgefallen im Post-Hoc-Test, was hauptsächlich an der vergleichsweise kleinen Samplesize n = 42 für Semi-Auto:Diesel liegt. Mehr Werte hätten diesen Bereich vermutlich mehr geschärft.

Post-Hoc-Test

transmission <fctr>	fuelType <chr>	Anzahl <dbl>	Mittelwert <dbl>	Median <dbl>	Standardabweichung <dbl>
Manual	Diesel	1763	11015.11	10391.0	3950.84
Manual	Petrol	8211	11414.72	10700.0	3721.70
Semi-Auto	Diesel	42	12755.83	11996.5	3275.50
Semi-Auto	Petrol	405	11734.91	11500.0	2881.74
Automatic	Diesel	170	17633.69	18274.0	3339.23
Automatic	Petrol	416	13235.74	12500.0	3994.54

6 rows

Interaktion?

Für automatische Getriebe sind ebenfalls Dieselfahrzeuge (M = 17633,69, SD = 3339,23, n = 170) teurer als Benziner (M = 13235,74, SD = 3994,54, n = 416). Dieser Unterschied ist signifikant ausgefallen im Post-Hoc-Test.

Post-Hoc-Test

Alternative

Bonferroni und Tukey: sehr strenge Kontrolle des Fehlers 1. Art, zu geringe Teststärke, deshalb zu konservativ.

Bei wenigen Paarvergleichen hat Bonferroni mehr Teststärke, bei vielen Paarvergleichen hat Tukey mehr Teststärke.

Post-Hoc-Test

Alternative

```
        Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  ford$price and ford$transmission

          Manual Semi-Auto
Semi-Auto 0.0075 -
Automatic <2e-16 <2e-16

P value adjustment method: holm
```

Post-Hoc-Test

Alternative

```
        Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  ford$price and ford$fuelType

       Diesel
Petrol 0.25

P value adjustment method: holm
```

Post-Hoc-Test

Alternative

```
        Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  ford$price and interaktion

                 Automatic.Diesel Automatic.Petrol Manual.Diesel
Automatic.Petrol < 2e-16          -                -
Manual.Diesel    < 2e-16          < 2e-16          -
Manual.Petrol    < 2e-16          < 2e-16          0.00032
Semi-Auto.Diesel 3.4e-13          0.42753          0.01423
Semi-Auto.Petrol < 2e-16          7.1e-08          0.00284
                 Manual.Petrol Semi-Auto.Diesel
Automatic.Petrol -             -
Manual.Diesel    -             -
Manual.Petrol    -             -
Semi-Auto.Diesel 0.08129       -
Semi-Auto.Petrol 0.27555       0.27555

P value adjustment method: holm
```

Post-Hoc-Test

Games-Howell (Faktor A)

	q value <dbl>	Pr(>|q|) <chr>	<S3: noquote>
Semi-Auto - Manual == 0	4.790	0.0021944	**
Automatic - Manual == 0	24.642	< 2.22e-16	***
Automatic - Semi-Auto == 0	16.811	2.7456e-13	***

3 rows

Post-Hoc-Test

Games-Howell (Faktor B)

	q value <dbl>	Pr(>|q|) <chr>	<S3: noquote>
Petrol - Diesel == 0	-1.472	0.29798	

1 row

Post-Hoc-Test

Games-Howell (Interaktion)

Die Kontrolltests ergaben eine Bestätigung der Ergebnisse aus dem Tukey-Test.

	q value	Pr(>|q|)	
	<dbl>	<chr>	<S3: noquote>
Automatic.Petrol - Automatic.Diesel == 0	-19.291	< 2.22e-16	***
Manual.Diesel - Automatic.Diesel == 0	-34.305	< 2.22e-16	***
Manual.Petrol - Automatic.Diesel == 0	-33.908	< 2.22e-16	***
Semi-Auto.Diesel - Automatic.Diesel == 0	-12.175	5.3502e-11	***
Semi-Auto.Petrol - Automatic.Diesel == 0	-28.431	4.5841e-13	***
Manual.Diesel - Automatic.Petrol == 0	-14.453	2.2461e-10	***
Manual.Petrol - Automatic.Petrol == 0	-12.870	< 2.22e-16	***
Semi-Auto.Diesel - Automatic.Petrol == 0	-1.252	0.94842991	
Semi-Auto.Petrol - Automatic.Petrol == 0	-8.748	9.2207e-09	***
Manual.Petrol - Manual.Diesel == 0	5.504	0.00142595	**
Semi-Auto.Diesel - Manual.Diesel == 0	4.788	0.01764592	*
Semi-Auto.Petrol - Manual.Diesel == 0	5.941	0.00042369	***
Semi-Auto.Diesel - Manual.Petrol == 0	3.740	0.10909844	
Semi-Auto.Petrol - Manual.Petrol == 0	3.040	0.26392185	
Semi-Auto.Petrol - Semi-Auto.Diesel == 0	-2.748	0.38935997	

15 rows

Post-Hoc-Test

Das par. Eta Quadrat

$$\eta^2_{partialA} = \frac{QS_A}{QS_A + QS_{inn}}$$

$$\eta^2_{partialB} = \frac{QS_B}{QS_B + QS_{inn}}$$

$$\eta^2_{partialA*B} = \frac{QS_{A*B}}{QS_{A*B} + QS_{inn}}$$

$$\eta_A = \frac{QS_A}{QS_{total}}$$

$$\eta_B = \frac{QS_B}{QS_{total}}$$

$$\eta_{A*B} = \frac{QS_{A*B}}{QS_{total}}$$

Post-Hoc-Test

Das par. Eta Quadrat

Im vorliegenden Beispiel ist der Effekt für Treibstoff **nicht signifikant**. Daher wird dessen partielles Eta-Quadrat nicht betrachtet.

Für die Getriebeart beträgt das partielle Eta-Quadrat 0,04. Das heisst, die Getriebart erklärt 4% derjenigen Fehlervariation, die das Modell hätte, wäre die Getriebart nicht im Modell.

Das partielle Eta-Quadrat der Interaktion beträgt 0,02 und erklärt daher 2% der ohne die Interaktion ungeklärten Variation.

```
# Effect Size for ANOVA (Type I)

Parameter             | Eta2 (partial) |       95% CI
-----------------------------------------------------
transmission          |           0.04 | [0.03, 1.00]
fuelType              |       4.35e-07 | [0.00, 1.00]
transmission:fuelType |           0.02 | [0.01, 1.00]

- One-sided CIs: upper bound fixed at (1).
```

Berechnung der Effektstärke

Effektstärke für Getriebe

$$f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2}}$$

"Effektstärke fürs Getriebe: f= 0.191"

```{r}
eta$Eta2_partial[1]
eta$Eta2_partial[2]
eta$Eta2_partial[3]
```

```
[1] 0.03516053
[1] 4.353649e-07
[1] 0.01668892
```

Berechnung der Effektstärke

Effektstärke fürs Treibstoff

$$f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2}}$$

"Effektstärke fürs Treibstoff: f= 0.001"

```{r}
eta$Eta2_partial[1]
eta$Eta2_partial[2]
eta$Eta2_partial[3]
```

```
[1] 0.03516053
[1] 4.353649e-07
[1] 0.01668892
```

Berechnung der Effektstärke

Effektstärke für die Interaktion

$$f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2}}$$

```{r}
eta$Eta2_partial[1]
eta$Eta2_partial[2]
eta$Eta2_partial[3]
```

```
[1] 0.03516053
[1] 4.353649e-07
[1] 0.01668892
```

[1] "Effektstärke für die Interaktion: f= 0.130"

Berechnung der Effektstärke

Cohen (1988)

$$\text{Schwacher Effekt: } 0.10 < ||f|| < 0.25$$
$$\text{Schwacher bis mittlerer Effekt: } 0.25 = ||f||$$
$$\text{Mittlerer Effekt: } 0.25 < ||f|| < 0.40$$
$$\text{Mittlerer bis starker Effekt: } 0.40 = ||f||$$
$$\text{Starker Effekt: } 0.40 < ||f||$$

Für den Treibstoff beträgt die Effektstärke f = 0,001 und bestätigt die **Nicht-Signifikanz des Tukey-Tests** durch **keinen** Effekt nach Cohen (1988).
Für die Art des Getriebes beträgt die Effektstärke f = 0,191 und bestätigt die **Signifikanz des Tukey-Tests** durch einen **schwachen** Effekt nach Cohen (1988).
Für die Interaktion beträgt die Effektstärke f = 0,13 und bestätigt **die Signifikanz des Tukey-Tests** durch einen **schwachen** Effekt nach Cohen (1988).

Eine Aussage

Hypothesen

Es zeigt sich, dass es **EINEN Unterschied** zwichen dem Getriebe und Preis gibt ($F(2,755.1) = 154.66$, $p < .000$). H0 für den Haupteffekt A wird **entworfen**.

Allerdings je nach Treibstoff gibt es **KEINEN Unterschied** zwischen den Preisen ($F(1,2654.3) = 1.0836$, $p = .298$). H0 für den Haupteffekt B wird **angenommen**.

Der Interaktionsterm von Treibstoff und Getriebe auf den Preis **ist signifikant** ($F(5,336.12) = 136.67$, $p = .000$). Der Effekt von der Getriebe hängt demnach zu einem gewissen Teil vom Treibstoff ab. H0 für die Interaktion wird **verworfen**.

Eine Aussage

Post-Hoc-Tests

Der PostHoc wurde mit **Tukey** durchgeführt. Für Treibstoff zeigte sich **KEINE signifikant** ab (p = 0.945006). Es zeigt, dass sich alle Gruppen **für Getriebe signifikant** unterscheiden: Automatic (M = 14511.60 ,SD = 4304.75, N=586), Manual (M = 11344.09, SD = 3766.10, n=9974) und Semi-Auto (M = 11830.83, SD = 2932.17, n=447).

Zudem zeigt sich **eine signifikante Interaktion von Getriebe und Treibstoff** auf die Preis. Dies weist darauf hin, dass sich Treibstoff je nach Getriebe unterschiedlich auswirkt.

Beim Automatic und Semi-Auto lag Diesel höher als Petrol, beim Manual ist es umgekehrt.

Eine Aussage

Effektstärke

Die Effektstärken sind sowohl für den Haupteffekt des Getriebes (f = 0.191) als auch für die Interaktion (f = 0.130) nach Cohen (1988) ein **schwacher Effekt**. Der Treibstoff hat **KEIN Effekt** auf Preis (f = 0.001)