Kapitel 7

Planungskontrolle und Abweichungs-auswertungen

© Ewert/Wagenhofer/Rohlfing-Bastian 2023.
Alle Rechte vorbehalten!

Ziele

- Zusammenhang von Kontrolle und Planung
- Auswertung von unbeabsichtigten Abweichungen
- Auswertung von beabsichtigten Abweichungen: Analyse im Rahmen eines Agency-Modells

Planungskontrolle

- Ausgangspunkt: ex post-Plangröße K^s
  - Bestmögliche Plangröße unter aktuellen Bedingungen bzw. Annahmen

$$\Delta K = K^i - K^p = \underbrace{\left[K^i - K^s\right]}_{\text{Realisationsabweichung}} - \underbrace{\left[K^p - K^s\right]}_{\text{Planabweichung}}$$

- Abgrenzung der Verantwortung für Planung und Realisierung problematisch
  - Keine Berücksichtigung des Informationsstands der Verantwortlichen
  - Separate Plangrößen für Beurteilung der Planung und für Realisation?
  - Planungshorizont hat Einfluss auf Abweichungen, z.B. werden Planabweichungen weniger wahrscheinlich
  - Realisationshandlungen können Umweltentwicklung beeinflussen
  - Informationskosten
- Ermittlung der Realisationsabweichung hat Anreizwirkung

Beispiel

Verhältnisse zum Planungszeitpunkt

$$x = 1.000 - p, \quad K = 100 + 2 \cdot x$$

$$\Rightarrow x^p = 449, p^p = 551, G^p = 246.401$$

Realisierter Gewinn $G^i = 150.000$

Zum Kontrollzeitpunkt wird mit folgenden Annahmen gerechnet:

$$x = 1.000 - 2 \cdot p, \quad K = 100 + 3 \cdot x$$

$$\Rightarrow x^s = 497, \quad p^s = 251{,}5, \quad G^s = 123.404{,}5$$

Ex post-Kontrolle:

$$\begin{aligned} &\left(G^i - G^s\right) - \left(G^p - G^s\right) = \\ &= \left(150.000 - 123.404{,}5\right) - \left(246.401 - 123.404{,}5\right) = \\ &= 26.595{,}5 - 122.996{,}5 = 96.401 \end{aligned}$$

Auswertung von unbeabsichtigten Abweichungen

- Grund: Unsicherheit der künftigen Entwicklung
- Unbeabsichtigte Abweichungen
  - kontrollierbar
  - nicht kontrollierbar

- Verschiedene Modelle zur Auswertung
  - Berücksichtigung von Kosten und Nutzen der Auswertung
  - ein- oder mehrperiodig
  - aktuelle Entwicklungen im Bereich der Fertigungstechnologien und Fertigungssysteme

Statistische Modelle

- Annahmen und Voraussetzungen
  - Höhe der Abweichungen einziger Indikator für Ursache
  - Große Zahl von Beobachtungen erforderlich
- **Kontrollkarten-Verfahren** (*Shewhart*-Verfahren)
  - Größere Abweichungen werden als kontrollierbar eingestuft
  - Festlegung von Kontrollgrenzen
    - Beachtung möglicher Fehler
      - Fehler 1. Art: Analyse trotz Nicht-Kontrollierbarkeit
      - Fehler 2. Art: Keine Analyse trotz Kontrollierbarkeit
    - I.d.R. zweiseitige Auswertungsstrategien
      Oft unterschiedliche Grenzwerte für positive und negative Abweichungen

Statistische Modelle
Methodik

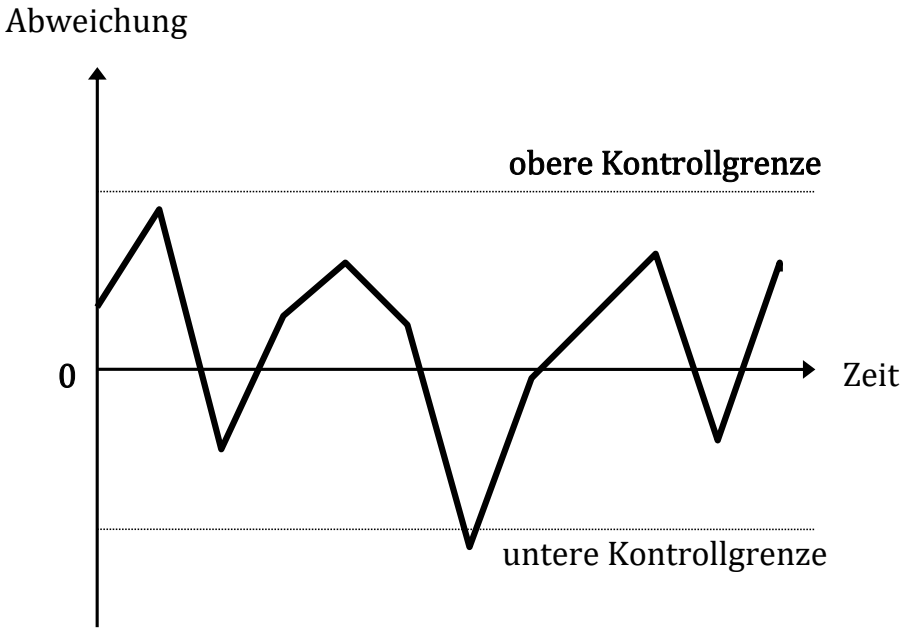
Methodik: Hypothesentest, ob Abweichung $\Delta = 0$

- Annahmebereich bei Normalverteilungsannahme in Intervall $(-t \cdot \sigma, +t \cdot \sigma)$

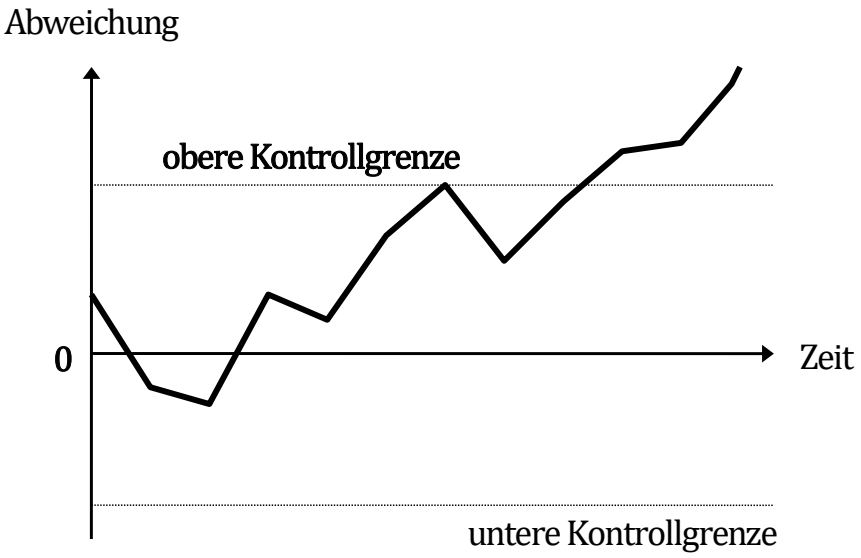
Beispiel

- Abweichung Δ außerhalb des Intervalls $[-2{,}58 \cdot \sigma, +2{,}58 \cdot \sigma]$ Wahrscheinlichkeit 1% für unkontrollierbare Ursachen
  - z.B. Abstellen und Prüfen der Fertigungsanlage
- Festlegung Warngrenzwerte, z.B. Intervall $[-1{,}96 \cdot \sigma, +1{,}96 \cdot \sigma]$ 5% Wahrscheinlichkeit für unkontrollierbare Ursachen
  - z.B. Test bei laufender Anlage

Kontrollkartenverfahren



Abweichung vermutlich zufällig



Vermutlich kontrollierbarer Fehler

Einperiodiges Modell mit Kosten/Nutzen der Auswertung

Entscheidungsmatrix

Abweichungsursache / Aktion	kontrollierbar	nicht kontrollierbar
Untersuchung und ggf Korrektur	$I+K$	I
sofortige Korrektur	K	K
nichts unternehmen	OK	0

I Kosten der Untersuchung, soll mit Sicherheit Kontrollierbarkeit aufdecken
K Kosten der Korrekturmaßnahmen
OK Kosten bei Nichtkorrektur kontrollierbarer Ursachen
Bei I und K zusätzlich anfallende Kosten relevant
Außerdem muss gelten: $I+K<OK$

Risikoneutralität: Entscheidung nach dem Erwartungswert der Kosten

Voraussetzung: Wahrscheinlichkeit $\phi \in [0, 1]$ für kontrollierbare Abweichung

Einperiodiges Modell mit Kosten/Nutzen der Auswertung: Lösung

- Entscheidung zwischen Aktion 1 und Aktion 3 (nichts tun)
  - Durchführung einer Untersuchung, wenn
    $$\varphi \cdot (I + K) + (1 - \varphi) \cdot I = I + \varphi \cdot K < \varphi \cdot OK$$
  - Nie Untersuchung, wenn $OK \leq I + K$
  - Stets Untersuchung, wenn $I = 0$ und $OK > K$

$$\varphi > \hat{\varphi}_{13} = \frac{I}{OK - K}$$

- Entscheidung zwischen Aktion 1 und Aktion 2 (sofortige Korr.)

  Durchführung einer Untersuchung, wenn
  $$\varphi \cdot (I + K) + (1 - \varphi) \cdot I = I + \varphi \cdot K < K$$
  - Nie Untersuchung, wenn $I \geq K$
  - Stets Untersuchung, wenn $I = 0$

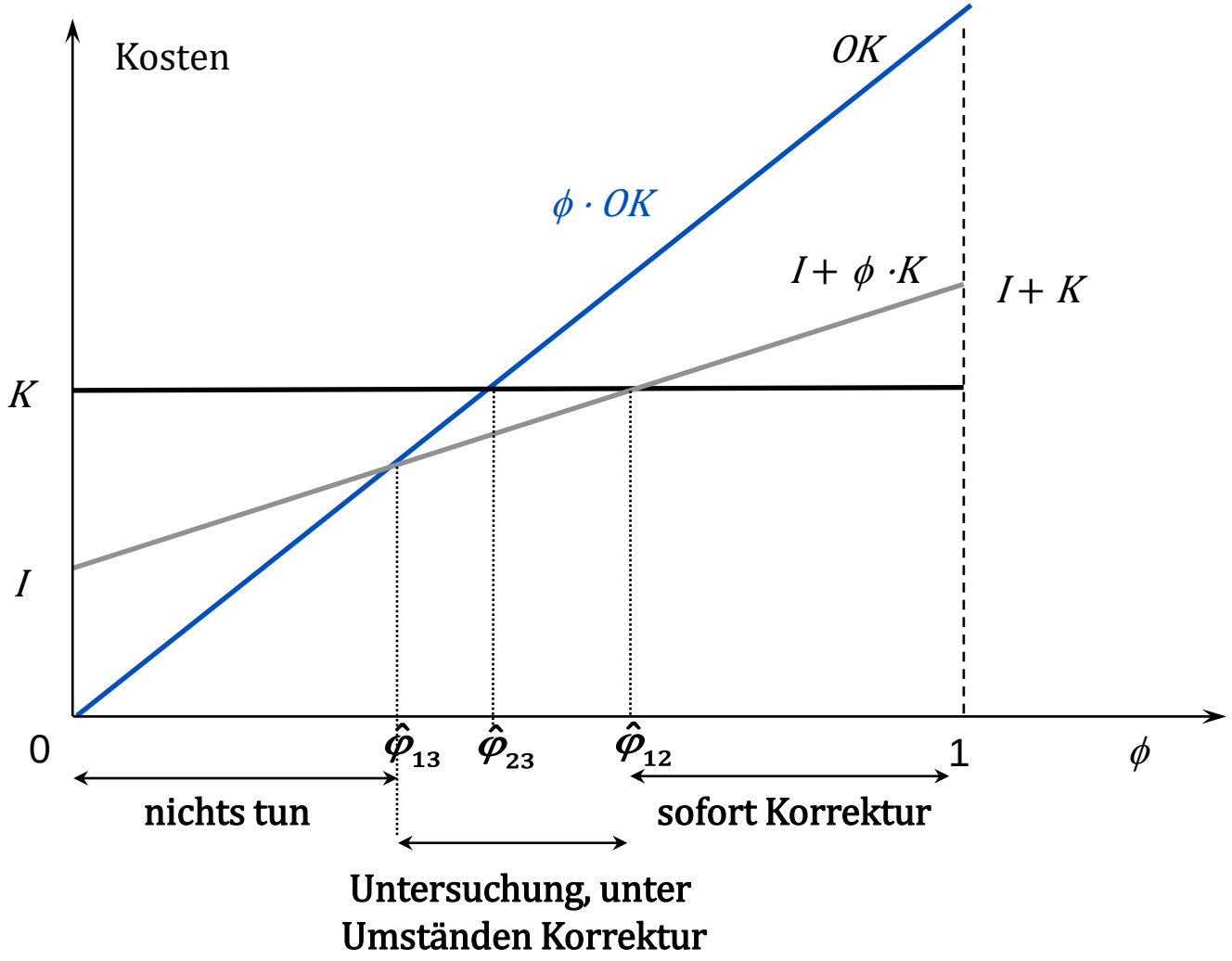
$$\varphi < \hat{\varphi}_{12} = \frac{K - I}{K}$$

- Entscheidung zwischen Aktion 2 und Aktion 3

  Sofortige Korrekturmaßnahmen, wenn $K < \phi \cdot OK$

$$\varphi > \hat{\varphi}_{23} = \frac{K}{OK}$$

Einperiodiges Modell mit Kosten/Nutzen der Auswertung: Grafik



Auswertung von beabsichtigten Abweichungen

Unterschiede gegenüber Auswertung unbeabsichtigter Abweichungen

- Verursachung sowohl durch absichtliche gesetztes Verhalten als auch durch nicht kontrollierbare Einflussgrößen
- Differenzierung in kontrollierbare und nicht kontrollierbare Ursachen für Verhaltenssteuerungsfunktion nicht geeignet
- Auswertung von Abweichungen ex post wertlos
- Motivationswirkung ex ante

Agency-Modell

- Agency-Modell (Prinzipal-Agenten-Modell)
  - Im einfachsten Fall: zwei Personen in hierarchischer Organisation
  - Prinzipal: Unternehmenseigentümer
  - Agent: Manager
  - Zielkonflikt zwischen den Personen
  - Folge: Anreizproblem
  - Vertrag mit Entlohnung des Agenten zur Steuerung von dessen Entscheidungsverhaltens
- Beispiele

Prinzipal	**Agent**
Unternehmenseigentümer	Geschäftsführung (Manager)
Unternehmensleitung	Bereichsmanager
Manager	Mitarbeiter
Gläubiger	Unternehmer
Versicherungsgesellschaft	Unternehmer

Agency-Modell: Annahmen

Annahmen

- Prinzipal: risikoneutral, besitzt Produktionstechnologie
- Agent: risikoscheu, entscheidet über Arbeitseinsatz a
- Umweltsituation θ: externe, nicht kontrollierbare Größen
- Ergebnis $x = x(a, \theta)$: allgemein beobachtbar
- Prinzipal erhält Ergebnis, bezahlt daraus Agent $S(x)$
- Höheres $a \rightarrow$ durchschnittlich höheres Ergebnis, höherer Disnutzen für Agenten $V(a)$
- Asymmetrisch verteilte Information: Prinzipal kann nicht unmittelbar von x auf a schließen
- Teilnahme-Bedingung des Agenten: Mindestnutzen bei alternativer Beschäftigung (Reservationsnutzen $\underline{U}$)

Agency-Modell: Lösungen

- First best-Lösung
  - Bei beobachtbarer Arbeitsleistung oder beobachtbarem Umweltzustand

- Einfache Lösung in zwei Fällen:
  - Agent ist risikoneutral

  oder

  - Prinzipal möchte niedrigste Arbeitsleistung durchsetzen

- Second best-Lösung
  - Bei Informationsasymmetrie
  - Trade-off zwischen Risiko und Anreizen für den Agent

Binäres Agency-Modell

Annahmen

- Ergebnis: $x_2 > x_1 > 0$
- Arbeitsleistung: $a_H > a_L$
- Wahrscheinlichkeitsstruktur

Wahrscheinlichkeiten	Ergebnis x_1	Ergebnis x_2	Disnutzen $V(a)$
Aktion a_L	ϕ_1^L	ϕ_2^L	v_L
Aktion a_H	ϕ_1^H	ϕ_2^H	v_H

- Nutzenfunktion des Agenten

$$U(s_i, a_j) = \sqrt{s_i} - v_j$$

Wenn $u_i = \sqrt{s_i}$, dann gilt $U(s_i, a_j) = u_i - v_j$

Binäres Agency-Modell

Zielfunktion des Prinzipals

$$\max_{u_1,u_2} \phi_1^H \cdot (x_1 - u_1^2) + \phi_2^H \cdot (x_2 - u_2^2)$$

$$\underbrace{\phi_1^H \cdot x_1 + \phi_2^H \cdot x_2}_{\text{erwarteter Erfolg}} - \underbrace{\min_{u_1,u_2} \phi_1^H \cdot u_1^2 + \phi_2^H \cdot u_2^2}_{\text{erwartete Kosten der Entlohnung}}$$

Teilnahmebedingung

$$\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \underline{U}$$

Aktionswahlbedingung

$$\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \phi_1^L \cdot u_1 + \phi_2^L \cdot u_2 - v_L$$

Binäres Agency-Modell

Lagrange-Funktion

$$LG = \left[\phi_1^H \cdot u_1^2 + \phi_2^H \cdot u_2^2\right] - \lambda \cdot \left[\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H - \underline{U}\right] -$$
$$- \mu \cdot \left[\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H - \left(\phi_1^L \cdot u_1 + \phi_2^L \cdot u_2 - v_L\right)\right]$$

Nutzenwerte der optimalen Entlohnung

$$u_1 = \underline{U} + v_H - \frac{\phi_2^H \cdot (v_H - v_L)}{\phi_2^H - \phi_2^L}$$

$$u_2 = \underline{U} + v_H + \frac{\phi_1^H \cdot (v_H - v_L)}{\phi_2^H - \phi_2^L}$$

Binäres Agency-Modell

Vergleich mit first best-Lösung

$$u_i = \underline{U} + v_H \qquad \text{für } i = 1, 2$$

Ergebnis

- Bei Beobachtbarkeit: Aktionswahl-Restriktion irrelevant
  First best-Lösung
- Asymmetrische Information: Aktionswahl-Restriktion relevant
  Second best-Lösung
- Differenz: „Agency costs“

Beispiel

Der Prinzipal möchte die hohe Aktion induzieren. Der Reservationsnutzen des Agenten beträgt $\underline{U} = 20$, und die Wahrscheinlichkeitsstruktur ist wie folgt gegeben.

Wahrscheinlichkeiten, Disnutzen	x_1	x_2	v_j
a_L	0,6	0,4	0
a_H	0,3	0,7	4

Als first best-Lösung ergibt sich ein Nutzen der Entlohnung von $\underline{U} + v_H = 24$ und erwartete Entlohnungskosten von $24^2 = 576$.

Die second best-Lösung ergibt $u_1 = 14{,}67$ und $u_2 = 28$. Der Erwartungswert der Nutzen der Entlohnung beträgt gerade wieder 24. Die erwarteten Entlohnungskosten steigen allerdings (wegen der Quadrierung der u_i) auf 613,33. Es resultieren Agency-Kosten von 613,33 – 576 = 37,33. Diesen Betrag könnte man hier auch als Wert der Information über die Arbeitsleistung interpretieren. ◀

Abweichungsanalyse im Agency-Modell

- Anbindung der Kompensation an die Ergebnisabweichung
  $\Delta x = x^i - x^p = x(a^i, \theta^i) - x(a^p, \theta^p)$
  - Lösung bleibt dieselbe
  - Prinzipal kann keine Abweichungsauswertung durchführen, die unerwünschtes Verhalten offenbart
  - Ex post entsteht Abweichung aus Zufallsschwankung
  - Risikoaufteilung ex post nicht optimal
- Verletzung des Controllability-Prinzips
  - Agent *muss* für Gesamtabweichung verantwortlich gemacht werden
- Kontrollmechanismus wirkt sich auf Planung aus!
- Anreizwirkung einer Auswertung
  - Kenntnis der Auswertungsstrategie bewirkt ex ante Anreiz für Agenten, sich wie vereinbart zu verhalten
  - Kosten-Nutzen - Abwägung erforderlich

Grundsätzliche Auswertungsstrategien im Agency-Modell

Annahmen

- Prinzipal risikoneutral
- Agent wählt zwischen niedriger (a_L)oder hoher Arbeitsleistung (a_H)
- Auswertungskosten K
- Abweichungsauswertung liefert Information y z.B. wie folgt:

y_H mit $\phi(y_H|a_H)=\phi$ ⟷ y ⟷ y_L mit $\phi(y_L|a_H)=1-\phi$

$1/2 < \phi \leq 1$

- Bei $\phi = 1$ faktisch sichere Information über die Arbeitsleistung
- Prinzipal entscheidet nach Beobachtung von x über Auswertung
  Auswertungswahrscheinlichkeit $a = a(x) \in [0, 1]$
- Entlohnung ohne Auswertung $s(x)$,
  mit Auswertung $s(x, y_L)$, $s(x, y_H)$ oder $s(x)$

Auswertungsstrategien im Agency-Modell

Annahme: $\phi = 1$

- Auswertung nur bei ungünstigem Ergebnis
  - Optimierungsproblem

$$\min_{u_1, u_2} \phi_1^H \cdot u_1^2 + \phi_2^H \cdot u_2^2$$

  - Unter den Nebenbedingungen

$$\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \underline{U}$$

$$\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \underbrace{\phi_1^L \cdot 0}_{=0} + \phi_2^L \cdot u_2 - v_L$$

- Auswertung nur bei hohem Ergebnis
  - Aktionswahlbedingung

$$\phi_1^H \cdot u_1 + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \phi_1^L \cdot u_1 + \underbrace{\phi_2^L \cdot 0}_{=0} - v_L$$

Beispiel

Der Prinzipal möchte die hohe Aktion induzieren. Der Reservationsnutzen des Agenten beträgt $\underline{U} = 20$, und die Wahrscheinlichkeitsstruktur lautet:

Wahrscheinlichkeiten, Disnutzen	x_1	x_2	v_j
a_L	0,6	0,4	0
a_H	0,3	0,7	4

Die *first best*-Lösung ergibt wiederum einen Nutzen der Entlohnung von $\underline{U} + v_H = 24$ und erwartete Entlohnungskosten von $24^2 = 576$. Nun sei angenommen, die Entlohnung würde gleich gehalten und nur im Fall der Auswertung bei Auffinden von a_L würde null bezahlt.

Beispiel ...

Im Fall der Auswertung nur bei **ungünstigem Ergebnis** lautet die Aktionswahlbedingung:

$$\phi_1^H \cdot 24 + \phi_2^H \cdot 24 - 4 \geq \phi_1^L \cdot 0 + \phi_2^L \cdot 24 - 0$$
$$20 \geq 0{,}4 \cdot 24 = 9{,}6$$

Diese Bedingung ist damit erfüllt. Bei Auswertung nur des **günstigen Ergebnisses** ist die Aktionswahlbedingung ebenfalls erfüllt:

$$\phi_1^H \cdot 24 + \phi_2^H \cdot 24 - 4 \geq \phi_1^L \cdot 24 + \phi_2^L \cdot 0 - 0$$
$$20 \geq 0{,}6 \cdot 24 = 14{,}4$$

Daraus folgt, dass die Sanktion, nämlich null zu zahlen, hier völlig ausreicht, um mit jeder der beiden Auswertungsstrategien die *first best*-Lösung zu implementieren.

Zusätzlich sind noch Auswertungskosten zu berücksichtigen.

Beispiel ...

Reicht es aus, nur stichprobenartig auszuwerten?

Aktionswahlbedingung bei Auswertung mit $\alpha \in [0, 1]$:

$$\phi_1^H \cdot 24 + \phi_2^H \cdot 24 - 4 \geq \alpha \cdot \phi_1^L \cdot 0 + (1 - \alpha) \cdot \phi_1^L \cdot 24 + \phi_2^L \cdot 24 - 0$$
$$20 \geq (1 - \alpha) \cdot 0{,}6 \cdot 24 + 0{,}4 \cdot 24$$
$$10{,}4 \geq (1 - \alpha) \cdot 14{,}4$$

Sie ist solange erfüllt, als $\alpha \geq 5/18$ gewählt wird. Damit reduzieren sich die erwarteten Auswertungskosten ebenfalls auf $\alpha \cdot \phi_H^1 \cdot K$, ohne dass sich die Anreize ändern. ◀

Auswertungsstrategien im Agency-Modell

Nicht perfekte Information durch Auswertung

- Signal $y = y_1$ oder $y = y_2$

Wahrscheinlichkeiten	Signal y_1	Signal y_2	Summe
Aktion a_L: Ergebnis x_1	ϕ_{11}^L	ϕ_{12}^L	ϕ_1^L
Ergebnis x_2	ϕ_{21}^L	ϕ_{22}^L	ϕ_2^L
Aktion a_H: Ergebnis x_1	ϕ_{11}^H	ϕ_{12}^H	ϕ_1^H
Ergebnis x_2	ϕ_{21}^H	ϕ_{22}^H	ϕ_2^H

- Optimierungsproblem (Auswertung nur bei x_1)

$$\min_{u_{11},u_{12},u_2} \phi_{11}^H \cdot u_{11}^2 + \phi_{12}^H \cdot u_{12}^2 + \phi_2^H \cdot u_2^2$$

- Nebenbedingungen

$$\phi_{11}^H \cdot u_{11} + \phi_{12}^H \cdot u_{12} + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \underline{U}$$

$$\phi_{11}^H \cdot u_{11} + \phi_{12}^H \cdot u_{12} + \phi_2^H \cdot u_2 - v_H \geq \phi_{11}^L \cdot u_{11} + \phi_{12}^L \cdot u_{12} + \phi_2^L \cdot u_2 - v_L$$

Beispiel

Der Prinzipal möchte die hohe Aktion induzieren. Der Reservationsnutzen des Agenten beträgt $\underline{U} = 20$, und die Wahrscheinlichkeitsstruktur ist unten dargestellt. Wie sich leicht überprüfen lässt, sind die Ergebniswahrscheinlichkeiten (vor Beobachtung von y) gleich wie im obigen Beispiel. Die *first best*-Lösung liefert wiederum einen Nutzen der Entlohnung von $\underline{U} + v_H = 24$ und erwartete Entlohnungskosten von $24^2 = 576$. Die optimalen Lösungen wurden mit dem Solver in Microsoft Excel ermittelt.

Wahrscheinlichkeiten	Aktion a_L		Aktion a_H	
	y_1	y_2	y_1	y_2
x_1	0,3	0,3	0,1	0,2
x_2	0,3	0,1	0,2	0,5

Auswertung nur bei ungünstigem Ergebnis:

$u_{11} = 10{,}17$ $u_{12} = 20{,}54$ $u_2 = 26{,}96$ Erwartete Entlohnungskosten 603,65

Auswertung nur bei günstigem Ergebnis:

$u_1 = 18{,}03$ $u_{21} = 21{,}01$ $u_{22} = 28{,}78$ Erwartete Entlohnungskosten 599,88

Die Auswertung nur bei günstigem Ergebnis ist (vor allfälligen Auswertungskosten) vorteilhaft.

Beispiel ...

Nun sei folgende Wahrscheinlichkeitsstruktur betrachtet; alle anderen Daten bleiben gleich. Dadurch ist auch das *first best*-Ergebnis dasselbe.

Wahrscheinlichkeiten	Aktion a_L		Aktion a_H	
	y_1	y_2	y_1	y_2
x_1	0,56	0,14	0,1	0,4
x_2	0,24	0,06	0,1	0,4

Auswertung nur bei ungünstigem Ergebnis:

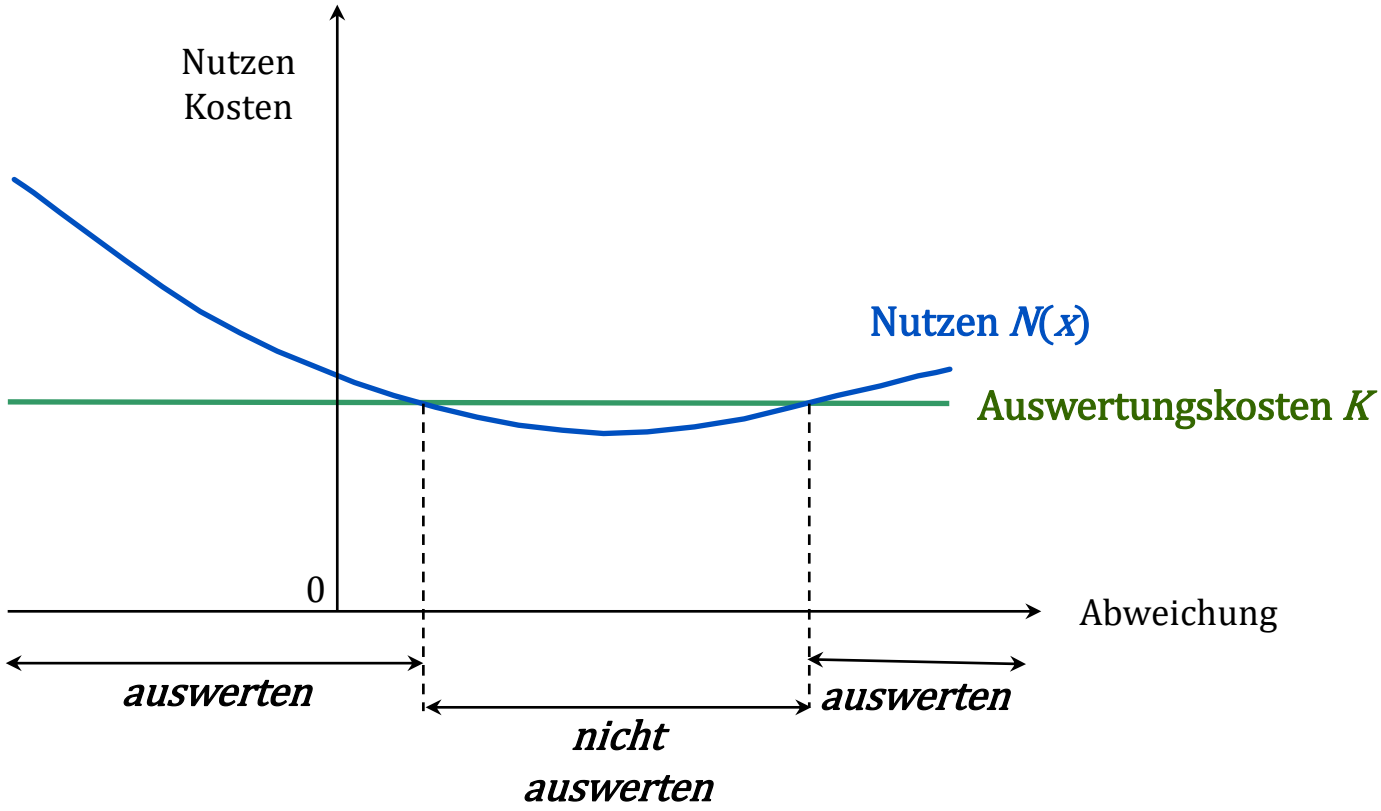
$u_{11} = 16{,}22$ $u_{12} = 25{,}10$ $u_2 = 24{,}68$ Erwartete Entlohnungskosten 582,77

Auswertung nur bei günstigem Ergebnis:

$u_1 = 21{,}17$ $u_{21} = 14{,}09$ $u_{22} = 30{,}02$ Erwartete Entlohnungskosten 604,32

Das Ergebnis dreht sich um: Die Auswertung ist hier bei ungünstigem Ergebnis (vor allfälligen Auswertungskosten) besser. ◀

Beispiel: Auswertungsstrategie



Zusammenfassung

Auswertungsstrategien im Agency-Modell

- Art der Risikoscheu des Agenten führt zu unterschiedlichen Ergebnissen
- Kontinuierliche Agency-Modelle: nur Auswertung mit Sicherheit oder keine Auswertung
- Nutzen ist in der Regel nicht symmetrisch um Null verteilt
- Funktion: ex ante-Wirkung auf Agenten – Verhaltenssteuerung
  - Auswertung ungünstiger Abweichungen: Versicherungseffekt
  - Auswertung günstiger Abweichungen: Belohnung
- Mathematisch komplexere Modelle könnten noch mehr Varianten optimaler Auswertungsstrategien liefern