



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

**Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT**  
**Plate-forme nationale «Dangers naturels»**  
**Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»**  
**National Platform for Natural Hazards**

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

## **TEIL B:**

### **ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS HITZEWELLEN**

Daniel Rüttimann, Thomas Egli, Dörte Aller



Hitzewelle 2004 (Egli Engineering)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:

Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts

Prozess Lawine

Prozess Hochwasser

Prozess Murgang

Prozess Sturz

Prozess spontane Rutschung / Hangmuren

Prozess permanente Rutschung

Prozess Erdbeben

Prozess Sturm

Prozess Hagel

Prozess Hitzewelle



# Kapitel 1

## Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Extremtemperaturen anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Da Hitzewellen für die Schweiz als vorrangig gegenüber Kälte angesehen werden, beschränkt sich dieses Kapitel auf die Hitzewellen. Es werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzmassnahmen vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich bei Hitzewellen um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von denjenigen bei gravitativen Prozessen unterscheiden, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt – anders als bei den gravitativen Naturgefahren – nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Hitzewelle charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird kurz ein Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

### 1.1 Charakterisierung des Prozesses Hitzewelle

Als Hitzewellen werden Perioden von mindestens drei Tagen Dauer mit Überschreitung eines bestimmten Wertes bezeichnet. Dieser Wert ist je nach Definition eine Temperaturschwelle oder ein Index, berechnet aus Temperatur und Feuchtigkeit. Für das Risikokonzept wird der momentan auch durch das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) verwendete Hitzeindex des Amerikanischen Wetterdienstes (NOAA) verwendet. Sobald der Indexwert von 90 Punkten (entspricht beispielsweise einer Temperatur von 31° C bei einer Luftfeuchtigkeit von 40 %) an 3 Tagen überschritten wird, definiert MeteoSchweiz dies als Hitzewelle [50].

In Mitteleuropa treten Hitzeperioden meist bei sehr ähnlichen Wetterlagen auf. Vorwiegend handelt es sich um einen grossräumigen Hochdruckrücken (Subtropenhoch) welcher sich über Europa legt und die grossräumige Zirkulation (Westdrift) unterbindet. In vielen Fällen handelt es sich zusätzlich um eine sogenannte Omega-Wetterlage, welche als sehr stabil gilt. Die Omega-Lage wird aus einem nahezu stationären, bis in grosse Höhen reichenden Hochdruckgebiet gebildet. Zusätzlich wird das Hoch an seiner westlichen und östlichen Flanke von je einem Tiefdruckgebiet begleitet. Das Hoch entsteht aus einem nach Norden vorstossenden Rücken des Subtropenhochs. Dadurch wird die zonale (die von West nach Ost verlaufende) Strömung blockiert und in zwei meridionale Äste aufgespaltet. Die Höhenströmung hat die Form eines griechischen Omegas, deshalb dieser Name. Damit werden die atlantischen Tiefdruckgebiete an ihrer üblichen Verlagerung gehindert und werden um das Hoch herumgeführt. Die Lebensdauer des blockierenden Hochs beträgt oft 8 bis 14 Tage, im Extremfall auch mehr [31].

## 1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hitzewelle

*s.a. Teil A, S. 9ff*

### 1.2.1 Einleitung

Dieser Teil hebt sich teilweise von den anderen Kapiteln ab, da zu diesem Prozess nur wenige Daten zur Verfügung stehen und auch die Methodik noch kaum auf Erfahrungen beruht. Die Daten ergeben sich zudem aus sehr wenigen Ereignissen oder gar nur aus Modellrechnungen mit grosser Unsicherheit.

Neben den üblichen Vorbereitungsarbeiten (s.a. Teil A, Abschnitt 3.1, Seite 10ff) müssen verschiedene Grundlagen wie Ereignisauswertungen, Temperaturreihen, technische Berichte und Gutachten (auch zu ähnlichen Situationen), Zeitungsberichte, aber auch historische Quellen beschafft werden. Für die künftige Entwicklung von Hitzewellen können heute schon, im Gegensatz zu den meisten anderen Gefahren, Prognosen gemacht werden. Diese sind daher auch mit einzubeziehen. In den nächsten 50 – 100 Jahren wird je nach betrachtetem Modell mit einer schwachen bis starken Zunahme von Hitzewellen gerechnet. Wichtig ist dabei den Nutzungszeitraum des betrachteten Objektes einzubeziehen.

Dazu gehören auch Daten und Prognosen zu menschlichen Aktivitäten im Betrachtungsgebiet inkl. deren potenzielle zukünftige Entwicklung sowie Daten zu natürlichen Gegebenheiten inkl. Vegetation und meteorologische Daten.

### 1.2.2 Gefahrenanalyse

Diese Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefahrenbeurteilung von Hitzewellen erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit, sondern muss durch Expertenwissen ergänzt werden. Sie ist zudem noch kaum erprobt.

### 1.2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Ereignisanalyse bei Hitzewellen können die folgenden Informationsquellen dienen:

- Historische Daten (z.B. Extremwertstatistik, historische Dokumente / Literatur);
- Klimatische Gegebenheiten (z.B. Temperaturreihen, Extremwerte der Lufttemperatur);
- Lokale Erfahrungen;
- Auf theoretische Grundlagen und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen zum Ausmass von Ereignissen;
- Modelle der künftigen Klimaentwicklung;
- Forschungsarbeiten zur Temperaturempfindlichkeit des Menschen;

Die Klimamodelle zeigen einen grösseren Anstieg der absoluten Maximaltemperaturen als des durchschnittlichen Tagesmaximums. Gemäss vorliegendem Szenario werden im Jahr 2050 im Sommer Verhältnisse wie im Hitzesommer 2003 bei einer schwachen Erwärmung weiterhin sehr selten, bei einer mittleren Erwärmung alle paar Jahrzehnte und bei einer starken Erwärmung alle paar Jahre auftreten [56].

**Auswertung der historischen Daten:** Die Ereignisdokumentation kann kaum zur Abschätzung von zukünftigen Ereignissen herangezogen werden, da einerseits die Einordnung von Ereignissen aufgrund ihrer kleinen Häufigkeit schwierig ist und andererseits die Klimaänderung zu einer Veränderung der Häufigkeit führt. Zur Abschätzung der Auswirkungen und zu möglichen Massnahmen können Ereignisdokumentationen aber sehr wohl herangezogen werden.

**Beurteilung der klimatischen Gegebenheiten:** Wesentliche Grössen für die Beurteilung der klimatischen Gegebenheiten sind Extremwerte der Lufttemperatur, deren Dauer (Anzahl aufeinander folgender Tage mit überschrittenem Schwellenwert) sowie die Luftfeuchtigkeit. Letztere beeinflusst die Temperaturwirkung massgeblich.

**Lokale Erfahrungen und auf theoretische und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen:**

Für die Beurteilung der Interaktion von Hitzewellen und bestimmten Objekten wie Gebäuden (Innentemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur) ist der Einbezug lokaler Erfahrungen sehr hilfreich. Ebenso können lokale Experten Auskunft über die lokale Variation der Temperaturen machen.

### 1.2.2.2 Wirkungsanalyse

Im Wesentlichen wird bei der Wirkungsanalyse auf die Grundlagen und die Erkenntnisse der Ereignisanalyse abgestützt. In der Wirkungsanalyse werden die zu erwartenden Intensitäten aufgrund der weiter unten aufgeführten Intensitätsklassen des Hitzeindex und der Werte aus der Ereignisanalyse abgeschätzt. Dabei werden auch Daten aus Prognosen und Modellen berücksichtigt.

Die Kenntnis der Prozesse ist eine notwendige Voraussetzung für die richtige Wahl der Modelle. Bei der Anwendung dieser Modelle ist die Kenntnis des Modellverhaltens, der massgebenden Parameter und ihrer Sensitivität sowie entsprechende Erfahrung in der Anwendung ebenfalls als

Grundlage vorauszusetzen. Besonders wichtig ist die Auswahl der Modellauflösung. Je nach Art der Studie sind Aussagen zu einem Land, einer Region oder einem Gebäude notwendig. Beim Einzelobjekt sind Faktoren wie die Bauart, die Umgebung oder die Kühlung von Bedeutung.

### Wirkungsanalyse Lebewesen

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Hitzewellen wird die Intensität über die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Dauer definiert.

Als Grundlage für die spätere Bestimmung der Schadenwirkungen wird auf die Methodik des amerikanischen Wetterdienstes (NOAA) zurückgegriffen. Diese Methode liegt auch den Hitze警告en von MeteoSchweiz zu Grunde [50].

Der Hitzeindex (HI) wurde von Steadman [76] entwickelt und benötigt als Eingangsparameter die Lufttemperatur in Fahrenheit und die relative Luftfeuchtigkeit. Die Einheit des ausgegebenen Wertes ist ebenfalls in Fahrenheit ausgedrückt. MeteoSchweiz verwendet ihn aber als einheitslosen Index. Berechnet wird der HI mit der folgenden Formel:

$$HI = c_1 + c_2 T + c_3 RH + c_4 T RH + c_5 T^2 + c_6 RH^2 + c_7 T^2 RH + c_8 T RH^2 + c_9 T^2 RH^2 \quad (1.1)$$

wobei:

- HI = Hitzeindex;
- T = Temperatur in F;
- RH = relative Luftfeuchtigkeit in %;
- $c_1 = -42.379$ ;
- $c_2 = 2.04901523$ ;
- $c_3 = 10.14333127$ ;
- $c_4 = -0.22475541$ ;
- $c_5 = -6.83783 \cdot 10^{-3}$ ;
- $c_6 = -5.481717 \cdot 10^{-2}$ ;
- $c_7 = 1.22874 \cdot 10^{-3}$ ;
- $c_8 = 8.5282 \cdot 10^{-4}$ ;
- $c_9 = -1.99 \cdot 10^{-6}$ .

Der HI ist ein komplexer Parameter, der die Temperaturempfindung des Menschen simuliert. Zur Berechnung sind an sich verschiedenste Parameter, wie Wasserdampfdruck der Luft, Masse des Menschen (Volumen, Oberfläche, ...), Kern- und Hauttemperatur, Aktivität, Wind, Durchlässigkeit der Kleidung zu berücksichtigen. Für die meisten dieser Parameter wurde ein Erfahrungswert eingesetzt. Um verschiedene Parameter zu eliminieren wurde eine Regressionsanalyse mit den gewonnenen Daten durchgeführt und der HI als Funktion von Temperatur und Luftfeuchtigkeit dargestellt. Dadurch hat der vereinfachte HI einen Fehler von  $\pm 1.3$  gegenüber der Originalgrösse. Da für die vereinfachte Version ein Aufenthalt im Schatten mit leichtem Wind angenommen wurde, sind beim Aufenthalt in der Sonne Werte bis zu 15 zum HI hinzuzuzählen. Für Gebäude und Verkehrsmittel kann kein allgemein gültiger Wert angegeben werden. In der Originalliteratur wird der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf den HI mit folgendem Diagramm dargestellt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Dargestellt ist der Hitzeindex in Abhängigkeit der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit sowie die Temperaturwirkungen auf Menschen anhand des Hitzeindexes (NOAA). Quelle: [50].

Heat Index		Relative Luftfeuchtigkeit %																
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Lufttemperatur °C	36	94	95	97	100	102	106	110	114	119	124	129	136	142	149	157	164	173
	35	91	93	94	96	99	102	105	109	113	118	123	128	134	140	147	154	161
	34	90	91	92	94	96	98	101	104	108	112	116	121	126	131	137	143	150
	33	88	88	90	91	93	95	97	100	103	107	110	114	119	123	128	134	139
	32	86	87	87	89	90	92	94	96	99	102	105	108	112	116	120	125	129
	31	84	85	86	86	88	89	91	93	95	97	100	103	106	109	112	116	120
	30	83	83	84	85	85	87	88	89	91	93	95	97	100	102	105	108	112
	29	81	82	82	83	83	84	85	87	88	89	91	93	95	97	99	101	104
	28	80	80	81	81	82	82	83	84	85	86	87	88	90	91	93	94	96
	27	79	79	80	80	80	81	81	82	83	83	84	85	86	86	87	88	89
80 - 90		Bei längerem Aufenthalt im Freien und körperlicher Aktivität Ermüdungserscheinungen																
90 - 105		Sonnenstich, Muskelkrämpfe, Hitze-Entkräftung wahrscheinlich, Hitzschlag möglich bei längerer Dauer und/oder körperlichen Aktivitäten																
105 - 130		Sonnenstich, Muskelkrämpfe, Hitze-Entkräftung wahrscheinlich, Hitzschlag möglich bei längerer Dauer und/oder körperlichen Aktivitäten																
> 130		Sonnenstich oder Hitzschlag wahrscheinlich																

Der Mensch kann sich bedingt an höhere mittlere Temperaturen anpassen, wie die Erfahrungen aus südlichen Ländern zeigen. Die Anpassung an das kurzfristige Auftreten von Hitzewellen ist jedoch schwieriger. Bei Temperaturen über 30° C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar.

Der von MeteoSchweiz [50] gewählte Grenzwert liegt bei 90: Der Heat Flash wird ausgelöst, wenn erwartet wird, dass an 3 aufeinander folgenden Tagen die Schwelle von 90 überschritten wird. Die 3 Tage wurden gewählt, weil sich in Auswertungen gezeigt hat, dass es zwischen Temperaturanstieg und negativen Effekten eine Verschiebung von 3 bis 6 Tagen gab. Der Wert 90 entspricht nicht einem Alarmwert, sondern eher einer Vorsichtsmeldung. Der Wert wurde bewusst tief angesetzt, da die verwendeten Messstationen, auf denen auch die Prognosen basieren, eher in ländlichen Gebieten liegen. Die Hitzeproblematik zeigt sich aber vor allem in Innenstädten, wo zwar das Tagesmaximum der Temperatur vergleichbar mit demjenigen auf dem Land ist, das Nachtminimum liegt in der Regel aber um ca. 2° C höher.

Für die Einteilung in Intensitätsklassen werden diejenigen des Hitzeindexes verwendet (Tabelle 1.2).

Tabelle 1.2: Intensitätsklassen anhand des Hitzeindexes.

	Intensität gering	Intensität mässig	Intensität stark
HI	90 – 105	105 – 130	> 130

Diese Werte können nicht direkt mit denjenigen der bisherigen Nomenklatur von MeteoSchweiz verglichen werden. Bis vor wenigen Jahren wurden lediglich Temperaturschwellen definiert, ab deren Erreichen ein Tag entsprechend klassiert wurde (Sommertag ab 25° C; Hitzetag ab 30° C).

Nicht allgemein erfasst werden können die Temperaturen in Objekten, wie beispielsweise Wohnungen, Büros oder Autos. In solchen Objekten können sich die Temperaturen aufgrund der Einstrahlung stark von der Aussen-Lufttemperatur unterscheiden. Für einzelne Objekte sind spezielle Analysen zu machen und entsprechend den Intensitätsstufen einzuteilen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist der Unsicherheit entsprechend Rechnung zu tragen. Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden mit Klimamodellen dargestellt und nach Exposition (ländlich / städtisch), Regionen und Höhenlagen gesondert betrachtet. Als Resultat der Gefahrenanalyse erhält man somit Intensitätsangaben für den Prozess Hitzewelle.

### **Wirkungsanalyse Infrastruktur**

Die Wirkungsanalyse bezüglich Infrastruktur beruht rein auf Temperaturmaxima. Insbesondere zu beachten ist hier auch die Strahlungswärme, da viele Anlagen direkt der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind. Aufgrund sehr unterschiedlicher Empfindlichkeit verschiedener Materialien (Beton, Stahl, Asphalt, ...) wird auf die Definition von Intensitäten verzichtet. Die Schädigung ist zudem meist diffuser respektive nicht zerstörerischer Art. Einige Wirkungen sind indirekter Art. So erhöhen Hitzewellen die Wassertemperatur von Flüssen und senken dazu die Abflussmenge dergleichen. Dies wiederum kann drastische Auswirkungen auf die Kühlkapazität eines Kraftwerkes haben.

Die Wirkung ist somit objektspezifisch zu ermitteln. Es sind auch indirekte Folgen und Kombinationen zu ermitteln. So sinkt beispielsweise das Stromangebot direkt durch fehlendes Wasser (Laufkraftwerke), indirekt durch mangelnde Kühlleistung in thermischen Kraftwerken und zugleich steigt der Energiebedarf durch Kühlanlagen (beispielsweise in grossen Rechenzentren).

### **1.2.3 Expositionsanalyse**

Als Resultat der Gefahrenanalyse wurden Intensitätsangaben (Hitzeindex oder reine Temperaturwerte) erzeugt. Diese geben Hinweise zu den Gefahren für den untersuchten Raum. Es können im Gegensatz zu den meisten anderen Gefahrenarten keine genauen Prozessräume definiert werden. Somit sind alle Objekte im selben Bereich von der gleichen potentiellen Gefahr bedroht. Die Intensität der Gefährdung ist aber abhängig von der Region sowie der Höhenlage in welcher sich das Objekt befindet. Entsprechend der Region und Höhenlage sind nun Gefährdungsszenarien für die Objektklassen zu beschreiben. Ebenso ist zu unterscheiden, ob die Wirkung im Freien oder diejenige innerhalb von Objekten betrachtet wird.

Die Eingangsdaten ergeben sich einerseits aus der Gefahrenanalyse (Intensitätsabklärungen) und andererseits aus objektspezifischen Angaben, die zum Teil noch erhoben werden müssen. Dabei lassen sich zwei Arten von Daten bezüglich der Objekte unterscheiden:

- Objekte die durch Hitzewellen direkt geschädigt werden können (z.B. Personen im Freien, Bahnschienen);
- Objekte die in Abhängigkeit anderer Objekte geschädigt werden können (Personen in Gebäuden in Abhängigkeit der Wärmeisolation des Gebäudes).

Für ein konkretes Schutzprojekt müssen diese Eingangsdaten in der Regel zunächst erhoben werden. Die Vorgehensweise wird im Kapitel Methodik dargestellt. Objektdaten wie z.B. Gebäudedaten (Bestrahlung, Aufbau, Isolation, Lüftung, Kühlung, Beschattung) müssen im Einzelfall



abgeklärt werden. Alternativ können auch Klassen gebildet werden, welche kollektiv untersucht werden (ähnliche Gebäudekonstruktion, Alter, ...). Besondere Objekte wie Spitäler oder Altersheime sind immer einzeln zu betrachten.

Zu identifizierende, direkt der Gefahr ausgesetzte Objekte sind:

- Gebäude (z.B. Wohngebäude, Industriegebäude, Hotels, Schulen, Altersheime, Spitäler, etc.);
- Sonderobjekte (z.B. Kraftwerk, Verkehrsanlage, Transformatoren, etc.);
- Landwirtschaft, Grünanlagen, Wald;
- Personen im Freien;
- Übertragungsleitungen, Infrastruktur;
- sonstige variable Objekte (z.B. Nutztiere).

Zu identifizierende, indirekt der Gefahr ausgesetzte Objekte sind:

- Personen in Gebäuden;
- Personen in Transportmitteln.

Für die direkt der Gefahr ausgesetzten Objekte sind folgende Daten zu bestimmen:

**Lage, Exposition und Umgebung von Objekten:** Massgebend sind die geografische Lage (Region, Höhe) sowie die Umgebung, insbesondere deren Eigenschaften bezüglich Kühlung oder Wärmespeicherung sowie Abstrahlung (z.B. asphaltierter Parkplatz neben Bürogebäude);

**Bauart von Objekten:** Die Bauart sowie die Ausstattung von Objekten sind sehr wichtig für die Beurteilung. Zu ermitteln ist die Art und Leistungsfähigkeit der Lüftung, die Isolation, Sonnenschutzmassnahmen wie Storen sowie allfällige Kühlvorrichtungen. Beachtet werden muss ferner die Notstromversorgung von Kühl- und Lüftungsanlagen;

**Hitzeresistenz der Verkehrsanlagen (Asphalt und Schienen):** Die Hitzeresistenz (beispielsweise bezüglich Verformung) der verwendeten Materialien ist zu ermitteln;

**Hitzeresistenz und Zuverlässigkeit der Sonderobjekte:** Für die Sonderobjekte sind die Einwirkungen separat zu klären;

Für indirekt der Gefahr ausgesetzte Objekte (Personen und Tiere) sind folgende Daten zu bestimmen:

**Personen in Gebäuden und Transportmitteln:** Innerhalb des Untersuchungsperimeters sind die Personen in Gebäuden und in Verkehrsmitteln zu identifizieren. Hierbei ist jeweils auch die spezifische Aufenthaltsdauer pro Tag und spezielle Expositionssituationen (z.B. Stau im Strassenverkehr) zu ermitteln;

**Personen im Freien:** Bei der Erhebung der Personen im Freien sind insbesondere auch spezielle Expositionssituationen zu berücksichtigen (z.B. Veranstaltungen im Freien);

**Erfassung von personenspezifischen Daten wie Gesundheit, Alter, Betätigung:** Die Erhebung von personenspezifischen Daten ist wichtig für die Expositionsanalyse von Spezialobjekten wie zum Beispiel bei Alters- und Pflegeheimen sowie Spitälern.

### 1.2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wird durch Überlagerung der Intensitätsangaben und der potentiell gefährdeten Objekte sowie der sich darin aufhaltenden Personen für jedes Objekt und jedes Szenario unter Einbezug der Schadenempfindlichkeit und der Letalität das Schadenausmass bestimmt. Dies setzt sich zusammen aus:

- Schadenausmass für Personen in Gebäuden;
- Schadenausmass für Personen Transportmitteln;
- Schadenausmass für Personen im Freien;
- Schadenausmass für Infrastrukturanlagen und Sonderobjekte.

### 1.2.5 Risikoermittlung

Es wird das Risiko für Personen und Sachwerte ermittelt. Dabei sind in Bezug auf Personen die kollektiven und die individuellen Risiken zu bestimmen.

## 1.3 Risikobewertung

*s.a. Teil A, S. 39ff*

Nachdem durch den Prozess Hitze in erster Linie Personen betroffen sind, konzentriert sich die Risikobewertung auf die Bewertung von Personenrisiken.

### 1.3.1 Individuelle Risiken

Hier erfolgt eine Überprüfung, ob die individuellen Risiken einzelner gefährdeter Personen unter den definierten Grenzwerten liegen. In Bezug auf die Hitzewelle weisen ältere und pflegebedürftige Personen eine viel höhere Empfindlichkeit auf als gesunde Personen jüngeren und mittleren Alters. Die Frage, ob für die älteren Personen ein tieferes Schutzziel anzusetzen ist, stellt eine wichtige ethische Grundfrage dar. Diese wurde bis anhin in Bezug auf Hitzewellen nicht beantwortet und sollte im Rahmen von Schutzziefestlegungen angegangen werden.

### 1.3.2 Kollektive Risiken

Für die Bewertung der kollektiven Risiken werden die graphisch aufbereiteten Werte nach den Risikoanteilen von Personen in Gebäuden, in Verkehrsmitteln und im Freien analysiert. Getrennt dazu sind die Anteile der Sachrisiken nach Szenarien bzw. gegebenenfalls auch nach Expositionssituationen zu bewerten. Hieraus ergeben sich Hinweise, welchen Objekten bei der Massnahmenplanung besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist.

## 1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

*s.a. Teil A, S. 49ff*

Hitzewellen lassen sich grundsätzlich nicht vermeiden (genauso wie Regen, Sturm oder Hagel). Es stehen jedoch verschiedene Massnahmen zur Verringerung der Risiken zur Verfügung. Dabei lassen sich organisatorische bzw. Massnahmen im Verhalten und bauliche Massnahmen unterscheiden. Durch bauliche Eingriffe kann die Temperatur in Gebäuden oder Verkehrsmitteln reduziert werden. Auch in bebauten Gebieten kann die Temperatur oder auch die Einstrahlung beeinflusst werden, so beispielsweise durch Bepflanzung oder Belüftungskorridore. Daneben sind auch Verhaltensanpassungen (Siesta) eine mögliche Massnahme zur Senkung des Risikos.

### 1.4.1 Mögliche Schutzmassnahmen

#### 1.4.1.1 Verhalten / Organisation

Vor der Hitzewelle steht als Massnahme das Bereitstellen von Trinkwasservorräten im Vordergrund.

Während der Hitzewelle können die folgenden Massnahmen unterschieden werden:

- Anstrengungen vermeiden: Nach Möglichkeit während der heissesten Tageszeit im Haus bleiben, wenig körperliche Aktivitäten;
- Haus und Räume möglichst kühl halten: Tagsüber Fenster und Fensterläden / Rolläden / Storen und Vorhänge schliessen, nachts Fenster öffnen und für Luftzirkulation sorgen;
- Körpertemperatur bei älteren und pflegebedürftigen Menschen überwachen;
- Körper frisch halten mit kühlen Duschen, kaltes Tuch auf Stirn und Nacken, kalte Arm- und Wadenwickel, kalte Fuss- und Handbäder;
- Lose helle und dünne Kleider aus Baumwolle tragen;
- Genügend Flüssigkeitszufuhr (1.5 – 2 Liter pro Tag), regelmässige Flüssigkeitsaufnahme auch ohne Durstgefühl;
- Kalte, erfrischende Speisen mit möglichst hohem Wassergehalt: Früchte, Salate, Gemüse, Milchprodukte;
- Verderbliche Nahrungsmittel im Kühlschrank aufbewahren. Kühlkette beim Transport sicherstellen.

#### 1.4.1.2 Bauliche Massnahmen an Gebäuden und Nutzungsverhalten in Gebäuden

Neuere Gebäude verfügen in der Regel über einen guten Wärmeschutz, welcher während der kalten Jahreszeit den Heizbedarf vermindert. Im Sommer dringt die Wärme während Hitzeperioden zwar etwas langsamer ein, kann aber auch schlechter nach aussen abgegeben werden. Die Sonnenstrahlung sowie die zusätzlich durch Geräte, Beleuchtung und Personen produzierte Wärme kann

eine Kühlung erforderlich machen. Bei bestehenden Bauten kann die Problematik der Wärmebelastung mit einem guten Sonnenschutz, energieeffizienten und geregelten (z.B. tageszeit- und präsenzorientiert) Geräten und Beleuchtungen, der Möglichkeit der Fensteröffnung sowie dem Einbau von Kühlanlagen gelöst werden. Durch eine Optimierung der Technik und durch Synergieeffekte mit der Raumwärmebereitstellung lassen sich sowohl die Investitions- wie die laufenden Kosten minimieren.

Verschiedene Methoden für die Kühlung von Gebäuden während den sommerlichen Hitzeperioden sind:

- Passive Nachtlüftung durch Querlüftung und Thermik;
- Passive Nachtlüftung mit Abluftanlage;
- Erdreichwärmetauscher zur Frischluftvorkühlung am Tag über mechanische Lüftungsanlage;
- Erdsonden mit Betonkernaktivierung;
- Thermische Absorptions-, Adsorptions- oder Sorptionskälte solargestützt;
- Elektrische Kompressionskälte.

Eine Zusammenstellung verschiedener baulicher Massnahmen an Gebäuden und Hinweise auf ein mögliches Nutzungsverhalten ist in Tabelle 1.3 dargestellt:

*Tabelle 1.3: Übersicht über bauliche Massnahmen an Gebäuden gegen Hitze.*

<b>Neubau und Sanierung</b>	<b>Nutzungsverhalten</b>
Sommerlicher Wärmeschutz	Nachtkühlung und Beschattung
Beschattung	Unterstützung für Kinder, Alte, Kranke
Speichermasse ins Gebäude	Mineralwasservorrat
Gebäudeisolation	Reduktion Stromverbrauch
Begrünung	«Siesta»
Erdreichwärmetauscher	Nutzung aktiver Kühlsysteme
Lüftungssysteme	
richtige Anordnung der Bäume	
Aktive Kühlung	
Dachbegrünung	
<b>Nur Neubau</b>	
Sinnvolle Fensterflächen	
Querlüftung «Durchzug»	

#### **1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit**

Die Wirksamkeit der Hitzeschutzmassnahmen bei Gebäuden und Fahrzeugen kann abgeschätzt werden mittels einfachen Wärmelastberechnungen oder mittels detaillierten, objektbezogenen Klimamodellen.

### 1.4.3 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese werden nach der Formel 5.1 (Teil A, Abschnitt 5.6, Seite 57) berechnet.

### 1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

### 1.4.5 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Dieses Vorgehen wird im folgenden Kapitel anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt.



## Kapitel 2

# Fallbeispiel Altersheim Bern

### 2.1 Einleitung

Für die Anpassung eines Alterspflegeheims an Hitzewellen sollte das Personenrisiko, die Massnahmen und die Kosten abgeschätzt werden. Das 2-geschossige Gebäude (Bauhaus-Stil) weist ein Flachdach auf und befindet sich in Bern (Stadt).

Folgende Parameter beschreiben das Objekt:

- Grundfläche: 20 m \* 50 m
- Höhe: 7 m
- Wandfläche: 980 m<sup>2</sup>
- Dachfläche: 1000 m<sup>2</sup>
- Gebäudevolumen: 7000 m<sup>3</sup>
- Wandfläche Glasanteil: 30 %
- Wandfläche Massiv: 70 %
- Bewohner: 50 Personen

Dieses Fallbeispiel wurde mit dem Online-Tool Riskplan bearbeitet [5].

### 2.2 Gefahrenanalyse

#### 2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Ereignisanalyse wurden die Aufzeichnungen von MeteoSchweiz zu den Hitzetagen verwendet.

## 2.2.2 Wirkungsanalyse

Für das Beispiel des Alterspflegeheims in Bern wurde im Rahmen der Wirkungsanalyse die Anzahl Hitzetage pro Jahr für diesen Standort bestimmt. Im Jahre 2008 wird mit durchschnittlich 10 Hitzetagen gerechnet [7]. Da aber wie oben beschrieben nicht einzelne Tage sondern nur Perioden à mindestens drei Tagen zählen, wird angenommen, dass dies zwei Perioden von geringer Intensität ergibt. Diese Anzahl erhöht sich je nach Szenario der Klimaänderung.

Ereignisse mit hoher Intensität, also einem HI von über 105 an mindestens 10 Tagen werden momentan mit einer Wiederkehrperiode von ca. 30 Jahren angenommen. In den Zukunftsszenarien für dieses Beispiel sind, bei angenommener starker Erderwärmung, diese sehr intensiven Ereignisse alle drei bis fünf Jahre zu erwarten (Annahme).

Aufgrund dieser Daten, Annahmen und Modelle wurden für dieses Beispiel zwei Szenarien definiert. Dazu wurden vier «Expositionen» definiert. Das bedeutet, dass pro Ereignis mit der angegebenen Wahrscheinlichkeit die jeweilige Exposition eintritt (Tabelle 2.1).

*Tabelle 2.1: Szenarien und Expositionen als Ergebnis der Gefahrenanalyse. Szenario IST (T = 20 Jahre) entspricht dem Istzustand; Szenario ZUK (T = 5 Jahre) entspricht einem Szenario bei starker Erderwärmung.*

<b>Szenario</b>	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
IST, p(e) = 0.05	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %
ZUK, p(e) = 0.20	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %

## 2.3 Expositionsanalyse

### 2.3.1 Ermittlung der fixen Objekte

Da der Untersuchungsraum auf das Altersheim begrenzt wurde, wurden keine weiteren fixen Objekte (Infrastruktur) betrachtet. Die Expositionsanalyse konnte sich daher auf die exponierten Personen beschränken.

### 2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Die Gruppe der exponierten Personen stellen die Altersheimbewohner dar. Es wurde angenommen, dass diese grösstenteils anwesend sind. Insbesondere die schwächeren Personen sind permanent im Haus. Die Präsenzwahrscheinlichkeit der Bewohner kann daher auf «1» gesetzt werden.

Zusätzlich sind die Angestellten zu betrachten. Da bei diesen jedoch von einer guten körperlichen Verfassung ausgegangen wird, sind sie keinem grösseren Risiko ausgesetzt, als andere Bürger.



## 2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wurden die Auswirkungen (Schadenausmass) der angenommenen Szenarien und Situationen auf die anwesenden Personen ermittelt. Die Intensität der Szenarien und Situationen äussert sich in den im Gebäudeinnern zu erwartenden Temperaturen und der Luftfeuchtigkeit. Dabei ist die vorhandene, schlecht isolierende Bausubstanz und die regionale Lage des Gebäudes zu berücksichtigen.

Das Schadenausmass für das Alterspflegeheim in Bern beschränkt sich auf das Todesfallrisiko der Bewohner und des Pflegepersonals. Die Beurteilung der Hitzeempfindlichkeit von Alterspflegeheimbewohnern erfolgt aufgrund der Zahlen der Ereignisanalyse des Hitzesommers 2003 in Baden Württemberg. Im August 2003 konnten in Baden-Württemberg 680 Todesfälle in Pflegeheimen der Hitze zugeordnet werden. Bei 57'000 in Pflegeheimen wohnenden Personen ergibt dies eine Mortalität von 1.2 % bei einer sehr langen Hitzeperiode von über drei Wochen. Der HI kann nur schlecht rekonstruiert werden; es wird aber von Werten im Bereich von HI = 100 ausgegangen.

Aufbauend auf den Daten von Baden-Württemberg (2004) und Dombois / Braun-Fahrländer (2006) wurden folgende Mortalitätsraten für die definierten Expositionen erhoben (Tabelle 2.2):

*Tabelle 2.2: Annahmen zu Mortalitätsraten für Alterspflegeheimbewohnende pro Ereignis und Exposition.*

<b>Exposition</b>	<b>Mortalitätsrate</b>
sehr hoher HI kurz	0.01
erhöhter HI lang	0.012
sehr hoher HI lang	0.02
Extremverlauf	0.045

Unter der Annahme der erhobenen Mortalitätsraten und der anwesenden Personen in den ausgewiesenen Expositionen konnte das Schadenausmass ermittelt werden. Das Ergebnis ist in Tabelle 2.3 dargestellt:

*Tabelle 2.3: Schadenausmass pro Ereignis in den definierten Expositionen.*

<b>Exposition</b>	<b>Mortalitätsrate</b>	<b>Anzahl Todesopfer pro Ereignis (bei 50 Bewohnern)</b>
sehr hoher HI kurz	0.01	0.5
erhöhter HI lang	0.012	0.6
sehr hoher HI lang	0.02	1.0
Extremverlauf	0.045	2.25
Summe pro Ereignis		0.8

## 2.5 Risikoermittlung

### 2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien und der Wahrscheinlichkeit der betrachteten Situationen konnte das kollektive Risiko berechnet werden. Es wurde keine Risikoaversion einbezogen.

*Tabelle 2.4: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien 20 Jahre (Istzustand) und 5 Jahre (starke Erderwärmung) und die betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert.*

<b>Szenario IST</b>	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130 p(s) = 40 %	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105 p(s) = 30 %	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130 p(s) = 20 %	Extremverlauf HI > 130 p(s) = 10 %
p(e) = 0.05				
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	50'000	45'000	50'000	56'250
Gesamt [CHF/a]	201'250	201'250	201'250	201'250
<hr/>				
<b>Szenario ZUK</b>				
p(e) = 0.2				
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	200'000	180'000	200'000	225'000
Gesamt [CHF/a]	805'000	805'000	805'000	805'000

### 2.5.2 Individuelle Risiken

Die individuellen Risiken konnten nicht ohne weiteres abgeschätzt werden. Sie sind zu stark abhängig von der jeweiligen körperlichen Verfassung der Bewohner des Alterspflegeheimes. Dazu fehlten gesicherte Daten.

## 2.6 Risikobewertung

### 2.6.1 Kollektive Risiken

Die Verteilung der kollektiven Risiken auf die verschiedenen Situationen zeigt, dass die Risiken etwa gleich verteilt sind. Die Risiken im Szenario 5 Jahre sind etwa 4-mal so hoch wie die des Szenarios 20 Jahre. Eine Gewichtung des Schadenausmasses mit einer Risikoaversionsfunktion wurde nicht vorgenommen. Wie eine Aversionsfunktion für den Prozess Hitze aussehen müsste, ist noch nicht diskutiert worden. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass die rund 1000 Todesopfer im Hitzesommer 2003 in der Schweiz ohne wesentliche Schutzmassnahmen auch für kommende Ereignisse hingenommen werden.

Im Zuge der Massnahmenplanung muss überprüft werden, ob sich diese Risiken mit verhältnismässigem Mitteleinsatz reduzieren lassen. Das heisst, dass die Kosten von Schutzmassnahmen am Gebäude zum Hitzeschutz im Verhältnis zur Risikominderung in Bezug auf das Todesfallrisiko stehen müssen.

### **2.6.2 Individuelle Risiken**

Die individuellen Risiken in Altersheim in Bern wurden nicht explizit berechnet. Erfahrungen aus Baden-Württemberg im Hitzesommer 2003 zeigen jedoch, dass die Mortalitätsrate bei  $1.2 \cdot 10^{-2}$  lag. Nimmt man ähnliche Bedingungen an, dann kann dieser Wert als individuelles Todesfallrisiko betrachtet werden. Der Wert von  $1.2 \cdot 10^{-2}$  liegt über den Schutzziele von unfreiwillig eingegangenen individuellen Risiken. Ob dieses Schutzziel allerdings auch für betagte Personen in Altersheimen gelten soll, muss noch Gegenstand von Diskussionen sein.

## **2.7 Mögliche Schutzmassnahmen**

In Analogie zu den Massnahmen bei anderen Naturgefahren bestehen für die verschiedenen Arten von Schutzmassnahmen folgende Möglichkeiten:

### **2.7.1 Raumplanerische Massnahmen**

Als raumplanerische Massnahmen sind vor allem solche der Siedlungs- und Stadtplanung vorzusehen. Durchlüftungskorridore in Städten wirken dabei besonders gut. Dazu soll Grünflächen genügend Platz eingeräumt werden. Diese wirken durch die Verdunstung direkt kühlend, zudem spenden sie Schatten und mindern so die Abstrahlung von geteerten Flächen.

### **2.7.2 Biologische Massnahmen**

Die Bepflanzung (Beschattung) könnte optimiert werden. Dies wird im Rahmen dieses Beispiels nicht weiter verfolgt.

### **2.7.3 Organisatorische Massnahmen**

Diverse organisatorische Massnahmen können getroffen werden. Dazu gehören beispielsweise das Bereithalten von Merkblättern des Bundesamtes für Gesundheit sowie die Vorbereitung und Umsetzung der darin erwähnten Massnahmen.

### **2.7.4 Technische Massnahmen**

Als Schutzmassnahmen für die Bewohner des Pflegeheims wurden neben organisatorischen Massnahmen folgende bauliche Massnahmen evaluiert:

- Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung
- Dach- und Wandisolation des Gebäudes

### 2.7.4.1 Massnahme 1: Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung

Diese Klappen werden in der Nacht geöffnet, um die Nachtauskühlung zu Nutzen. Damit wird das Gebäude in den kühleren Nachtstunden um einige Grad herunter gekühlt.

### 2.7.4.2 Massnahme 2: Dach- und Wandisolation des Gebäudes

Die Isolation von Gebäuden schreitet immer weiter voran und ist auch eine Massnahmen um (kurze) Hitzewellen abzuschwächen. Die Isolation verlangsamt das Eindringen der Wärme. Einmal eingedrungene Wärme kann aber viel schlechter wieder entweichen. Damit ist insbesondere bei länger andauernden Hitzewellen mit der Aufheizung von Gebäuden zu rechnen. Dazu kommen die internen Wärmeerzeuger wie beispielsweise Computer, Kühlschränke etc. Werden diese internen Lasten möglichst minimiert sowie die Abfuhr der Wärme gewährleistet, so überwiegt der Nutzen der besseren Isolation jedoch deren Nachteile. Je nach Situation ist die Isolation mit einer aktiven Kühlung zu ergänzen [56].

Allenfalls wäre auch eine Kombination von Massnahmen zu prüfen.

## 2.8 Wirksamkeit

### 2.8.1 Wirksamkeit Massnahme 1

Durch den Einbau der Klappenöffnungen wird eine Veränderung der Häufigkeit von Hitzeperioden und eine Veränderung der Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Situationen angenommen (Tabelle 2.5):

Tabelle 2.5: Szenarien und Situationen vor und nach Einbau der Klappenöffnungen. Szenario IST beschreibt den Istzustand (mit Häufigkeit  $p(e)$ ); Szenario ZUK ein Szenario mit starker Erderwärmung; M1 bezeichnet das jeweilige Szenario nach Massnahme;

Szenario	sehr hoher HI kurz	erhöhter HI lang	sehr hoher HI lang	Extremverlauf
	3-10 Tage HI 105-130	> 10 Tage HI 90-105	>10 Tage HI 105-130	HI > 130
IST, $p(e) = 0.05$	$p(s) = 40 \%$	$p(s) = 30 \%$	$p(s) = 20 \%$	$p(s) = 10 \%$
IST-M1, $p(e) = 0.04$	$p(s) = 40 \%$	$p(s) = 35 \%$	$p(s) = 15 \%$	$p(s) = 10 \%$
ZUK, $p(e) = 0.20$	$p(s) = 40 \%$	$p(s) = 30 \%$	$p(s) = 20 \%$	$p(s) = 10 \%$
ZUK-M1, $p(e) = 0.10$	$p(s) = 40 \%$	$p(s) = 35 \%$	$p(s) = 15 \%$	$p(s) = 10 \%$

Das Schadenausmass und die Risiken nach Massnahmen sind in Tabelle 2.6 dargestellt:

Tabelle 2.6: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien IST-M1 (Istzustand nach Massnahme 1) und ZUK-M1 (starke Erderwärmung nach Massnahme 1) und in den betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert.

<b>Szenario IST-M1</b>	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 35 %	p(s) = 15 %	p(s) = 10 %
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	40'000	42'000	30'000	45'250
Gesamt [CHF/a]	157'000	157'000	157'000	157'000

  

<b>Szenario ZUK-M1</b>				
p(e) = 0.1				
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	100'000	105'000	75'000	112'000
Gesamt [CHF/a]	392'500	392'500	392'500	392'500

## 2.8.2 Wirksamkeit Massnahme 2

Es wurde angenommen, dass sich nach einer Dach- und Wandisolation des Gebäudes die Häufigkeit von Ereignissen und die Wahrscheinlichkeit der Situation verändert (Tabelle 2.7).

Tabelle 2.7: Szenarien und Situationen vor und nach Dach- und Wandisolation des Gebäudes. Szenario IST beschreibt den Istzustand (mit Häufigkeit p(e)); Szenario ZUK ein Szenario mit starker Erderwärmung; M2 bezeichnet das jeweilige Szenario nach Massnahme.

<b>Szenario</b>	sehr hoher HI kurz > 10 Tage HI 90-105	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 105-130	sehr hoher HI lang 3 -10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
IST-M2, p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 27 %	p(s) = 20 %	p(s) = 13 %
ZUK-M2, p(e) = 0.10	p(s) = 40 %	p(s) = 27 %	p(s) = 20 %	p(s) = 13 %

Die Veränderung der Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der Situationen hat einen unmittelbaren Einfluss auf das Schadenausmass und das Risiko. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.8 dargestellt.

## 2.9 Kosten

Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte nach der Methode, die im Teil A erläutert wurde (Abschnitt 5.6, Seite 57ff).

Für die Massnahme 1 («Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung») wurden folgende Annahmen getroffen: Es ist pro Bewohnerzimmer 1 Klappe notwendig, bei 50 Zimmern sind

Tabelle 2.8: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien IST-M2 (Istzustand nach Massnahme 2) und ZUK-M2 (starke Erderwärmung nach Massnahme 2) und in den betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert.

<b>Szenario IST-M2</b>	sehr hoher HI kurz > 10 Tage HI 90-105 p(s) = 40 %	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 105-130 p(s) = 27 %	sehr hoher HI lang 3-10 Tage HI 105-130 p(s) = 20 %	Extremverlauf HI > 130 p(s) = 13 %
p(e) = 0.04				
Schadenausmass [CHF]	3'000'000	5'000'000	2'500'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	48'000	54'000	20'000	58'500
Gesamt [CHF/a]	180'000	180'000	180'000	180'000

  

<b>Szenario ZUK-M2</b>				
p(e) = 0.1				
Schadenausmass [CHF]	3'000'000	5'000'000	2'500'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	120'000	135'000	50'000	146'250
Gesamt [CHF/a]	451'250	451'250	451'250	451'250

damit 50 Klappen notwendig. Für allgemeine Räume ist mit weiteren 20 Klappen zu rechnen. Es wurden Kosten in Höhe von 2000 CHF pro Klappe angenommen.

Für die Massnahme 2 («Dach- und Wandisolation des Gebäudes») sind neben der Isolierung der Gebäudehülle auch neue Fenster mit Isolierverglasung vorgesehen. Bei einem Diskontsatz von 2 % und einem Restwert von 0 CHF nach Ende der Laufzeit können die jährlichen Kosten berechnet werden. Die in Tabelle 2.9 angenommenen Kosten stützten auf Egli [27] ab und wurden basierend auf einem Umrechnungssatz von 1.65 von Euro in Schweizer Franken umgerechnet.

Tabelle 2.9: Annahmen für die Berechnung der jährlichen Kosten und Höhe der jährlichen Kosten für die beiden Massnahmen.

<b>Massnahme</b>	<b>Investitions- kosten</b> [CHF]	<b>Betriebs- kosten</b> [CHF/a]	<b>Unterhalts- kosten</b> [CHF/a]	<b>Lebensdauer</b> [-]	<b>jährliche Kosten</b> [CHF/a]
M1	140'000	1'000	3'000	30	10'067
M2	418'200	500	3'000	30	21'622

## 2.10 Massnahmenbewertung

Die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses ist in Tabelle 2.10 gezeigt. Die Ergebnisse der Berechnungen in beiden Szenarien unterscheiden sich merklich. Je nach Entwicklung des Klimas ist die Nutzen-Kosten-Relation sehr unterschiedlich. Bei eintreffender starker Erwärmung haben beide Massnahmen ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von grösser als 1. Falls die Erwärmung nicht weiter zunehmen würde, weist einzig der Einbau der Lüftungsklappen ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von grösser als 1 auf.

Die Sanierung der Aussenhülle des Gebäudes lohnt sich nur beim Szenario ZUK (starke Erwärmung). Daneben ergeben sich durch die bessere Isolation voraussichtlich auch beträchtliche Einsparungen bei den Heizkosten, welche in der vorliegenden Kostenrechnung noch nicht berücksichtigt sind. Unter Annahme des Szenario ZUK dürfte auch die gleichzeitige Realisierung beider Massnahmen Sinn machen. Zum einen, da Baukosten gegenüber den Einzelmassnahmen gespart werden können, zum andern da sich die Massnahmen ergänzen.

*Tabelle 2.10: Zusammenstellung der Risikoreduktionen und jährlichen Kosten der beiden Massnahmen sowie deren Nutzen-Kosten-Verhältnis in den beiden Szenarien Istzustand (IST) und starke Erderwärmung (ZUK).*

	Massnahme 1 Lüftungsklappen IST	Massnahme 2 Isolierung IST	Massnahme 1 Lüftungsklappen ZUK	Massnahme 2 Isolierung ZUK
Risikoreduktion [CHF/a]	44'250	20'750	412'500	353'750
jährliche Kosten [CHF/a]	10'067	21'622	10'067	21'622
N/K-Verhältnis [-]	4.39	0.96	40.97	16.36

Es zeigt sich, dass der Einbezug der möglichen künftigen Entwicklung des Klimas in diesem Prozess besonders wichtig ist. Je nach gewähltem Szenario rechnen sich unterschiedliche Massnahmen. Die Vernachlässigung möglicher Entwicklungsszenarien könnte massive Schutzzieldefizite in naher Zukunft zur Folge haben!

## 2.11 Realisierte Massnahmen

Da es sich bei einem Beispiel um kein reales Beispiel handelt, sind keine Massnahmen realisiert worden.





## **Kapitel 3**

### **Fazit**

Das vorliegende Fallbeispiel zeigt, dass eine risikobasierte Massnahmenplanung für den Prozess Hitze möglich ist. Obwohl nicht überall in den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung Erfahrungswerte vorhanden sind, hilft das strukturierte Vorgehen bei der Findung eines nachvollziehbaren Entscheides. Die Unterstützung eines Software-Tools (in diesem Fall das Online-Tool RiskPlan [5]) hilft bei der Berechnung von verschiedenen Szenarien, die gerade beim Prozess Hitze von entscheidender Bedeutung sind. Da erwartet wird, dass bei einer Klimaerwärmung der Prozess Hitze eine zunehmend grössere Rolle bei den Naturgefahren spielen wird, sind in den nächsten Jahren auf diesem Gebiet weitere Anstrengungen notwendig. Im Gegensatz zu den anderen Prozessen kann festgehalten werden, dass für diesen Prozess keine klaren Zuständigkeiten vorhanden sind. Hierzu sind entsprechende Abklärungen notwendig.

